

Série A, 603

N° d'ordre
1335

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

Lucien CHANCEREL

INSPECTEUR ADJOINT DES EAUX ET FORÊTS
Docteur en droit — Docteur en médecine

1^{re} THÈSE. — ACTION DES ENGRAIS SUR LES VÉGÉTAUX LIGNEUX.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 20 Mars 1909, devant la Commission d'examen

MM. Gaston BONNIER, président.

CHATIN, {
VÉLAIN, { examinateurs.

PARIS

VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS

23, PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

1909

ACTION DES ENGRAIS
SUR
LES VÉGÉTAUX LIGNEUX



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Série A, 603 .

N° d'ordre
1335

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

Lucien CHANCEREL

INSPECTEUR ADJOINT DES EAUX ET FORÊTS
Docteur en droit — Docteur en médecine

1^{re} THÈSE. — ACTION DES ENGRAIS SUR LES VÉGÉTAUX LIGNEUX.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 20 Mars 1909, devant la Commission d'examen



MM. Gaston BONNIER, président.

CHATIN, {
VÉLAIN, { examinateurs.

PARIS

VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS

23, PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

1909

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen..... P. APPELL, *Prof.* Mécanique rationnelle.

Doyen honoraire..... G. DARBOUX, — Géométrie supérieure.

Professeurs honoraires. { L. TROOST.
Ch. WOLF.
J. RIBAN.

Professeurs..... { LIPPMANN..... Physique.
BOUTY..... Physique.
BOUSSINESQ..... Physique mathém. et calcul des probabilités.
PICARD..... Analyse supérieure et algèbre supérieure.
H. POINCARÉ..... Astronomie mathém. et mécanique céleste.
Y. DELAGE..... Zoologie, anatomie, physiologie comparée.
G. BONNIER..... Botanique.
DASTRE..... Physiologie.
KœNIGS..... Mécanique physique et expérimentale.
VÉLAIN..... Géographie physique.
GOURSAT..... Calcul différentiel et calcul intégral.
CHATIN..... Histologie.
PELLAT..... Physique.
HALLER..... Chimie organique.
JOANNIS..... Chimie (Enseignement P. C. N.).
JANET..... Physique — —
WALLERANT..... Minéralogie.
ANDOYER..... Astronomie physique.
PAINLEVÉ..... Mathématiques générales.
HAUG..... Géologie.
TANNERY..... Calcul différentiel et calcul intégral.
RAFFY..... Application de l'analyse à la géométrie.
HOUSSAY..... Zoologie.
H. LE CHATELIER..... Chimie.
G. BERTRAND..... Chimie biologique.
M^{me} P. CURIE... Physique générale.
CAULLERY..... Zoologie, Evolution des êtres organisés.
C. CHABRIÉ..... Chimie appliquée.
G. URBAIN..... Chimie.
N..... Zoologie, anatomie, physiologie comparée.

Professeurs-adjoints... { PUISEUX..... Mécanique et astronomie.
LEDUC..... Physique.
HADAMARD..... Calcul différentiel et calcul intégral.
MATRUCHOT..... Botanique.
MICHEL..... Minéralogie.
BOUVEFAULT..... Chimie organique.
BOREL..... Théorie des fonctions.
G. PRUVOT..... Anatomie comparée.

Secrétaire..... A. GUILLET.

ACTION DES ENGRAIS

SUR

LES VÉGÉTAUX LIGNEUX

AVANT-PROPOS

Le comité forestier nommé par la réunion scientifique de Vienne, en 1868, avait désigné dans son programme, parmi les études importantes à entreprendre, les suivantes :

« Influence des différentes matières minérales sur la croissance des essences forestières.

« Influence des engrais artificiels sur le développement des essences forestières, surtout dans les pépinières. »

Ces questions ont été si peu traitées que nos grandes sociétés agricoles de France, encore actuellement, dans toutes leurs sessions, demandent aux sylviculteurs de résoudre les mêmes problèmes :

« Étudier l'action des divers engrais organiques et minéraux sur la végétation des plants forestiers en pépinière et en forêt.

« Rechercher si, dans les taillis sous futaie où le chêne tend à disparaître parce que la croissance des brins de cette

essence est plus lente que celle des rejets voisins, on ne pourrait activer cette croissance par l'emploi d'engrais ou de procédés culturaux appropriés. »

« Rechercher des procédés de culture propres à activer la croissance des jeunes sapins en pépinière et en forêt... »

C'est une simple contribution à cette immense étude que nous avons tentée.

Ce ne sont que de modestes essais, de timides reconnaissances dans un territoire scientifique encore à peu près inexploré. Car si, suivant l'expression de Garola, la science de l'application des engrais chimiques au jardin vient à peine de naître, celle qui s'adresse à la forêt n'est pas encore née.

I. — IMPORTANCE DE LA QUESTION

L'étude de l'application des engrais chimiques à la création et au développement des bois et forêts est d'un intérêt capital.

La question des reboisements est actuellement à l'ordre du jour.

C'est à l'absence de boisements, à la disparition des forêts qu'est due la ruine d'un grand nombre de régions. Dans le Plateau Central, par exemple, un coefficient de boisement insuffisant est la vraie cause des désastres produits par les inondations trop fréquentes qui désolent le pays. Si nous examinons cette contrée, nous constatons que les statistiques indiquent un taux de boisement de 14 à 18 0/0, alors que celui des Vosges, pays forestier par excellence, est de 35 0/0.

Encore le boisement des Vosges est-il réel, alors que le taux de 14 à 18 0/0 pour le Plateau Central est une illusion.

En effet, les bois du Plateau Central sont formés, en majeure partie, de pins sylvestres et de hêtres.

Le hêtre est traité le plus souvent en taillis *furtés* ne donnant que du chauffage inférieur et ne protégeant le sol que d'une manière insuffisante.

Quant au pin sylvestre, son traitement n'est pas moins favorable à la dénudation et à la dégradation du sol : on le trouve, dans les bois particuliers, soit exploité en véritables *têtards*, afin d'utiliser les branches au chauffage, soit élagué jusqu'à deux ou trois couronnes de la cime, afin de l'employer comme bois de mine.

Tous ces bois particuliers sont comptés dans les boisements des statistiques, alors qu'ils laissent le terrain exposé aux érosions.

Ainsi le taux de boisement *fictif* est insuffisant, et le taux de boisement *réel* est presque nul ; il n'y a de vrais bois que ceux qui sont créés par l'Administration des Forêts, et ces bois n'occupent qu'une très minime surface, parfaitement insuffisante pour avoir une action sur le climat et le régime torrentiel des eaux.

On peut dire qu'il n'existe pas de véritables forêts dans le Plateau Central.

Il est donc urgent de reboiser, comme dans les Alpes et les Pyrénées.

Il est non moins urgent de chercher *les engrais chimiques et les procédés de culture pouvant favoriser ces reboisements*.

Dans de nombreuses circonstances ces études trouvent une application immédiate.

Je citerai le cas du Mézenc et du Mégal.

Le Mégal est reboisé. Au Mézenc, au contraire, les reboisements ont si peu réussi qu'on a proposé de louer cette région *pour le pâturage*.

Toutes choses autres que le terrain étant égales d'ailleurs, la réussite d'une part et l'insuccès d'autre part ne peuvent s'expliquer que par la différence de composition chimique du sol.



Fig. 1. — Bois particuliers du Plateau Central.

Forme de pin sylvestre traité en *têtard* et ne protégeant plus le sol.

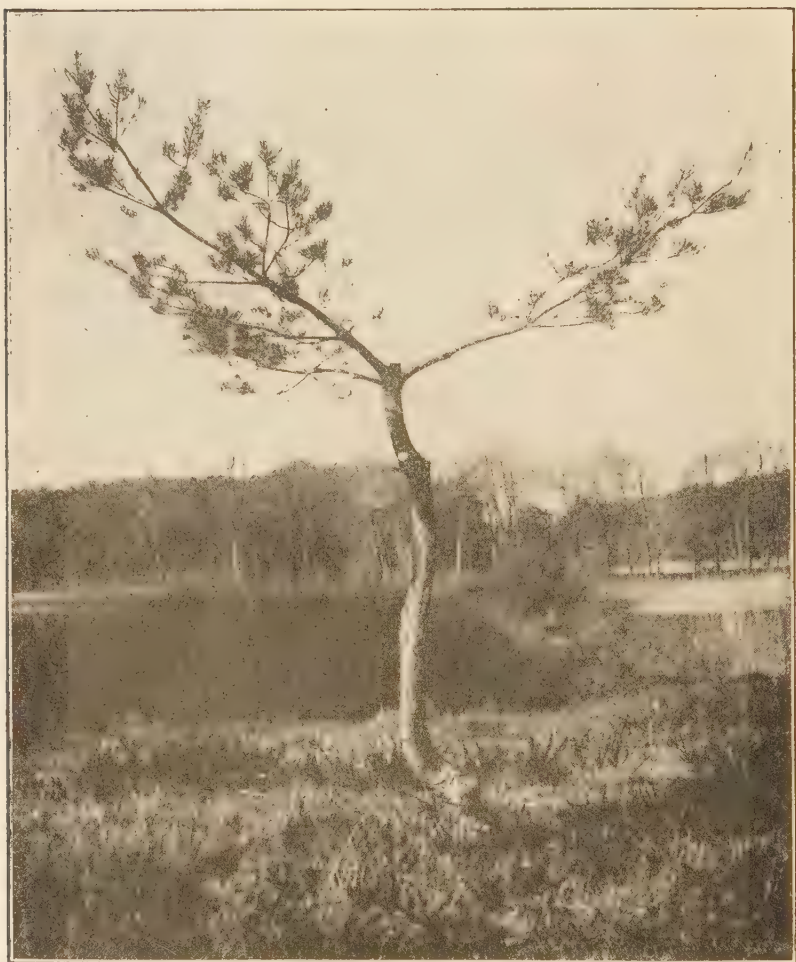


Fig. 2. — Bois particuliers du Plateau Central.

Forme de pin sylvestre traité en *têtard* et ne protégeant plus le sol.

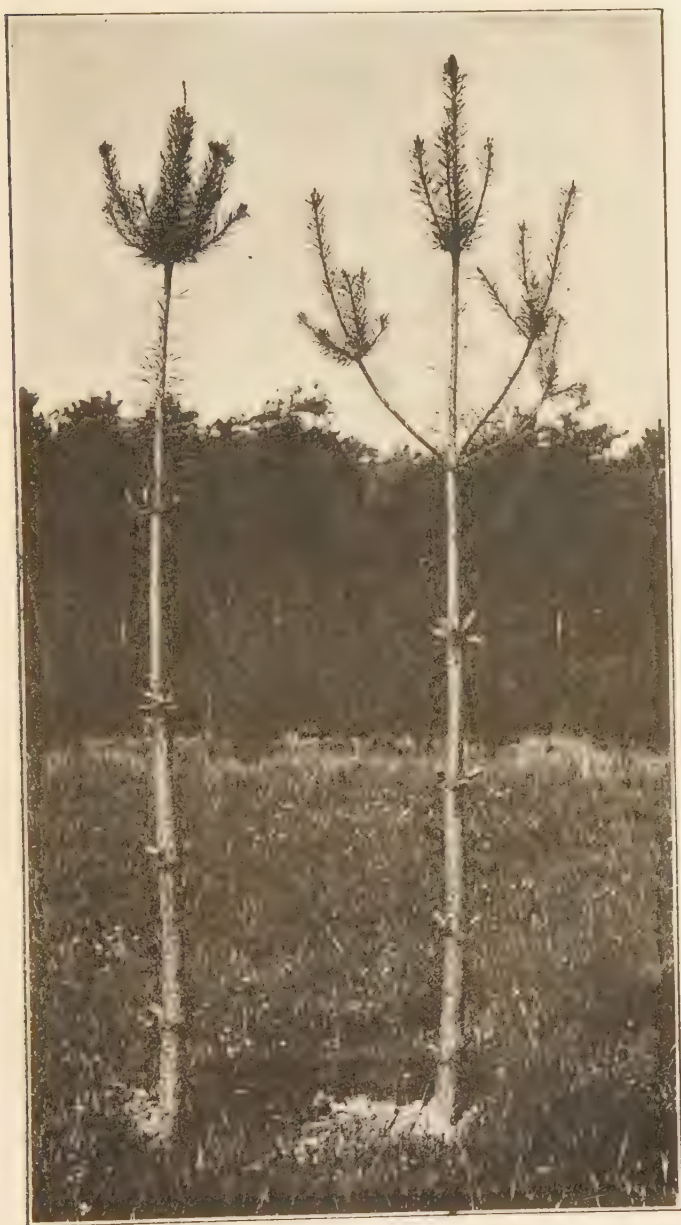


Fig. 3. — Bois particuliers du Plateau Central.

Mode d'élagage de deux pins sylvestres destinés à former des bois de mines.



Fig. 4. — Hêtre soumis au « furetage »

et laissant le sol exposé aux érosions.

Région des sources de l'Allier.

Vue prise en hiver.

L'analyse donne les résultats suivants :

Terre fine du Mégal :

Chaux totale.	0/00 = 5.83
Potasse.	0/00 = 7.18

Terre du Mézenc :

Chaux totale.	0,00 = 1.20
Potasse.	0,00 = 3.10

Dans le premier cas, le sol est riche en matières minérales calciques et potassiques ; dans le second cas, celui du Mézenc, il est pauvre ; mais, ce qu'il y a de remarquable, c'est que la proportion de potasse comparée à celle de la chaux est beaucoup plus considérable que dans la terre du Mégal.

Dans nos expériences, nous constaterons l'influence nuisible des sels potassiques sur la végétation ligneuse.

Il est permis de penser que dans le sol du Mézenc la dose exagérée du potassium par rapport à celle du calcium a exercé une influence néfaste.

C'est un cas frappant où les engrais calciques, préalablement essayés et introduits avec discernement, auraient pu favoriser la réussite des reboisements, et éviter à l'État une perte importante.

En fait, les engrais chimiques ont été expérimentés déjà dans le Plateau Central pour les améliorations pastorales.

Après l'extraction des bruyères, ajoncs, genêts, après fauchages et écobuages, on a mis temporairement en réserve

certain cantons, et on a procédé à des épandages de *chaux* et de *phosphates*.

La réussite ne s'est pas fait attendre.

On ne voit pas pourquoi des essais ne seraient pas tentés avec succès pour les végétaux forestiers.

II. — DIFFICULTÉS INHÉRENTES AUX VÉGÉTAUX LIGNEUX

Les végétaux ligneux ne prennent au sol qu'un centième à peine de leur poids, en éléments minéraux ; le reste, carbone, hydrogène, oxygène, est emprunté à l'atmosphère au moyen de leur appareil foliacé.

Ces éléments minéraux trouvés dans le sol existent dans les terrains les plus pauvres ; le pin sylvestre notamment est, sous ce rapport, particulièrement accommodant.

Agir sur ces végétaux par des éléments introduits dans le sol est beaucoup plus difficile que pour les espèces annuelles ou bisannuelles.

Dans le jeune âge, après la germination, leurs graines contenant, en général, une masse notable de matériaux de réserve, l'influence des engrais minéraux est masquée, diminuée, ou changée de nature par cette réserve.

D'autre part, sur le sol forestier, les plantes ligneuses ont à lutter contre les autres végétaux secondaires, qui encombrant le terrain, s'emparent des engrais qu'on peut leur fournir, et les dominent souvent par une croissance tout d'abord plus rapide.

Plus tard, le développement de leur appareil foliacé les

rend particulièrement sensibles aux agents extérieurs, chaleur, électricité, vapeur d'eau, lumière. Les réserves qu'ils emmagasinent dans leurs tissus consistent surtout en amidon et cet amidon se constitue dans leurs feuilles.

L'action des engrais minéraux ou organiques doit donc se faire sentir plus lentement et devenir plus difficile à saisir, toutes les fois qu'on ne donne pas ces engrais à doses massives.

Ajoutons que la lignine imprégnant les parois des cellules accentue encore la lenteur des transformations dues aux modifications chimiques du sol.

III. — ÉTAT ACTUEL DE LA QUESTION

Dans les pépinières permanentes les engrais sont d'un emploi courant ; ils sont indispensables pour maintenir la fertilité du sol et la production des végétaux ligneux. Mais il faut remarquer que les pépiniéristes emploient presque exclusivement les fumiers de ferme ordinaires, à doses massives.

Dans les pépinières les plus importantes des environs d'Orléans, où l'on produit d'immenses quantités de plants ligneux, on a essayé *les scories, le sang desséché, le nitrate de soude*.

Pour les plantations de végétaux forestiers dans les sols très pauvres, dans les sables, les Belges ont utilisé, en même temps, *le lupin* comme engrais vert azoté, *les scories* et *la kainite*.

Les Allemands, notamment le D^r Helbig, ont formulé des prescriptions analogues qu'ils indiquent comme favorables à la végétation ligneuse.

En France, à Chinon, des essais d'engrais sur des peuplements forestiers déjà constitués, tels que des pins, des chênes de 40 ans, ont été tentés : mais M. le professeur Henry a constaté que ces essais étaient peu concluants.

D'ailleurs, les expériences n'ont été conduites nulle part suivant une méthode rigoureusement scientifique.

Sur une espèce spéciale, le robinier faux-acacia, M. le professeur Henry a obtenu de bons effets par la simple injection dans le sol de *sulfure de carbone*. Il y aurait à examiner si ce résultat favorable ne peut être attribué à la formation dans le sol de sulfate de chaux.

Dans son récent *Traité des engrais*, M. Garola recommande pour les arbres des vergers, par hectare :

600 kilog. de superphosphate de chaux ;
 150 — de chlorure de potassium ;
 200 — de nitrate de sodium.

Dans les sols garnis de fumier de ferme, il conseille 2.000 à 4.000 kilogrammes de plâtre cru par hectare.

Il en est de même pour la vigne ; mais, pour cette dernière, il substitue le sulfate de potasse au chlorure de potassium.

Il ne donne aucune indication relative aux végétaux forestiers.

Georges Ville employait par hectare, pour les fruitiers :

400 kilog. de superphosphate de chaux ;
 200 — de carbonate de potasse ;
 400 — de sulfate de chaux.

M. de Paris donne, pour les fruitiers, la formule suivante ou ses variantes :

300 grammes par mètre carré du mélange :

Superphosphate de chaux. . . 4 à 8 kilog.
 Chlorure de potassium. . . . 1 kilog.
 Nitrate de soude. 2 — (ou sulfate d'ammon. 1 k. 500).
 Sulfate de chaux. 2 —
 Sulfate de fer 1 à 2 kilog.

On doit couvrir tout l'espace occupé par les racines, en semant le mélange d'engrais avant l'hiver.

MM. Joulie et Desbordes conseillent, pour l'arboriculture d'ornement, les proportions suivantes :

Superphosphate de chaux	0.400
Chlorure de potassium.	0.350
Nitrate de soude	0.250

Ils obtiennent avec cette composition les résultats cherchés :

« Feuillage bien vert, végétation luxuriante, floraison abondante et soutenue. »

P. Wagner, en ce qui concerne les arbres fruitiers, recommande par pied d'arbre isolé, pour 25 mètres carrés :

1.400 gr. superphosphate à 16 0/0 ;
400 — chlorure de potassium ;
500 — nitrate de soude.

Pour les vergers, par hectare :

550 kilog. superphosphate à 16 0/0	{ de novembre à février.
160 — chlorure de potassium	
200 — nitrate de soude, au printemps.	

Dans les terrains garnis de fumier de ferme, il indique l'emploi des scories de déphosphoration, au moment de la plantation (400 gr. par mètre carré).

M. Grandeau conseille d'expérimenter l'action du plâtre à la dose de 500 grammes à 1 kilogramme par pied d'arbre.

MM. Tronchand et Chanzit utilisent pour la vigne, par hectare :

400 kilog. superphosphate de chaux,
 200 — sulfate de potasse,
 360 — nitrate de soude.

Ils associent à ce mélange le sulfate de chaux.

M. Obertin a montré d'ailleurs les bons effets du plâtre dans la culture de la vigne ; et ses résultats ont été confirmés par MM. Battanchon et Condeminal.

Dans les sols pauvres, M. Grandeau recommande, par hectare de vigne, ou de verger :

1.000 kilog. scories (ou 2.000 kilog. phosphate minéral),
 1.000 — kaïnite,
 300 — nitrate de soude,
 1.500 — plâtre moulu.

M. Grandeau signale le fait que le plâtre augmente considérablement *la quantité* du rendement.

Le même auteur déclare que les cultures arbustives autres que les fruitiers et la vigne, telles que houblons, oseraies, etc., ont sensiblement les mêmes exigences que ces derniers, et que les fumures indiquées précédemment peuvent leur être appliquées avec succès.

Enfin, pour les oliviers, amandiers et autres arbustes du Sud, il conseille les phosphates et les scories dans les sols siliceux, les superphosphates dans les terrains calcaires, associés aux engrais azotés, tourteaux oléagineux ou fumier.

Pour les végétaux forestiers, ce n'est pas tant une floraison abondante qu'une végétation luxuriante que l'on recherche ; ce qu'on veut, dans les reboisements, c'est le maintien de l'existence ligneuse, la reprise facile des plants, ce qu'on désire dans la forêt en état de végétation, c'est *un maximum dans la masse ligneuse produite*.

Nous n'avons à ce sujet aucune donnée scientifique précise.

Certains auteurs même nous conseillent des formules empiriques de nature, comme nous le démontrerons, à gêner le développement du bois, par exemple *l'emploi des sels de potasse à hautes doses*.

Quelques-uns sont en désaccord complet :

Ainsi M. le professeur Laurent, de la Seine-Inférieure, déclare que la potasse augmente la raideur et par conséquent la lignification de la paille de blé et d'avoine, et empêche la verse ; il prescrit 200 kilogrammes de chlorure de potassium par hectare.

Au contraire, M. Dassonville conclut, de ses très remarquables travaux, que la potasse provoque la verse.

M. Eug. Leroux, quand les arbres fruitiers *poussent à bois*, et ne donnent pas de fruits, recommande, par arbre, le mélange suivant :

3 kilog. chlorure de potassium,
10 kilog. scories.

On voit que la dose de *potasse* prescrite est relativement importante.

Quand de jeunes arbres fruitiers donnent des fruits trop prématurément, il attribue le fait à un sol riche en acide phosphorique et *en potasse*.

Sans qu'il soit désigné positivement, on peut entrevoir, dans ces prescriptions, le rôle des sels potassiques dans la diminution de la production ligneuse comme dans la mise à fruits.

M. Garola, de même que M. Leroux, indique que, si les vignes et les fruitiers poussent à bois, c'est la dose des superphosphates et des *sels de potasse* qu'il faut forcer.

Faute d'expériences rigoureuses, on émet les affirmations les plus contestables :

Les uns déclarent que le plâtre n'agit pas dans les sols qui ne contiennent pas de matières organiques, ou qui sont trop appauvris; or nous avons cultivé des plants forestiers *en sable pur mélangé de plâtre*, et nous avons constaté que celui-ci agit merveilleusement.

Les autres prescrivent le chlorure de potassium dans la culture du chanvre, alors que les expériences précises de M. Roux, du Museum, démontrent nettement *l'influence défavorable des sels potassiques* dans la lignification du chanvre.

Certains attribuent les bons effets du sulfate de chaux à cette hypothèse qu'il favoriserait la descente des principes fertilisants du sol dans le sous-sol.

En résumé, aucune formule précise basée sur des recherches rigoureuses n'est fournie à ce sujet par les auteurs que nous avons cités. On ne nous donne rien qui soit démontré favorable à la formation de la matière ligneuse. C'est cependant le but principal à atteindre dans les reboisements. C'est aussi l'objet que nous nous sommes proposé dans ces recherches.

IV. — LES ENGRAIS A EMPLOYER

On peut classer ainsi les engrais couramment usités en agriculture :

1° **Engrais organiques** : fumiers, sang, etc.

2° **Engrais minéraux** :

Azotés : Nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque.

Phosphatés : Phosphates de chaux, superphosphates, scories.

Potassiques : Sulfate, carbonate et chlorure de potassium, kaïnite.

Calciques : Plâtre, chaux, carbonate de chaux.

On pourrait ajouter à cette énumération les sels de fer, notamment le sulfate de fer ; mais ils ne peuvent être utilisés qu'à si faible dose qu'on doit les considérer moins comme un engrais que comme un stimulant chlorophyllien.

Nous n'avons compris dans notre classification que les substances dont les prix ne sont pas en disproportion trop grande avec les résultats à obtenir dans la culture des végétaux ligneux.

Désirant donner un caractère pratique à ces recherches, tout en les conduisant avec le maximum de rigueur scienti-

fique, nous devons tenir compte de la valeur vénale des matières essayées.

Nos expériences ont porté sur les substances le plus couramment employées en agriculture :

Le fumier de ferme ordinaire ;

Le sang desséché ;

Le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque ;

Le superphosphate de chaux, le phosphate de chaux, les scories ;

Le sulfate, le carbonate et le chlorure de potassium, la kaïnite ;

Le plâtre, la chaux, le carbonate de chaux ;

Le sulfate de fer, le sulfate de manganèse (accessoirement).

Dans les mélanges d'engrais, nous avons évité de mettre en présence des corps pouvant se décomposer.

On ne peut pas mélanger le superphosphate de chaux ou le sulfate d'ammoniaque avec la chaux et les scories, la chaux et les scories avec les engrais potassiques, le superphosphate avec les engrais azotés notamment le nitrate de soude ; dans ce dernier cas, l'acide sulfurique et l'acide phosphorique du superphosphate attaquent le nitrate et mettent l'acide nitrique en liberté ; cet acide nitrique, oxydant des matières organiques, laisse dégager du bioxyde d'azote : il y a perte d'azote.

Le sulfate de chaux peut se mélanger au chlorure de potassium, et aussi au superphosphate, qui en contient déjà d'ailleurs.

Le sulfate de fer forme avec les superphosphates des phosphates de fer ; avec la chaux, il y a précipitation d'oxydes de fer ; avec le sang, il y a coagulation de la matière albuminoïde et arrêt de la nitrification ; avec les scories on constate la formation d'oxydes et de phosphates de fer.

Un tableau, employé en agriculture, indique, parmi les engrais courants, ceux qui, réunis par une ligne, ne doivent pas être mélangés :

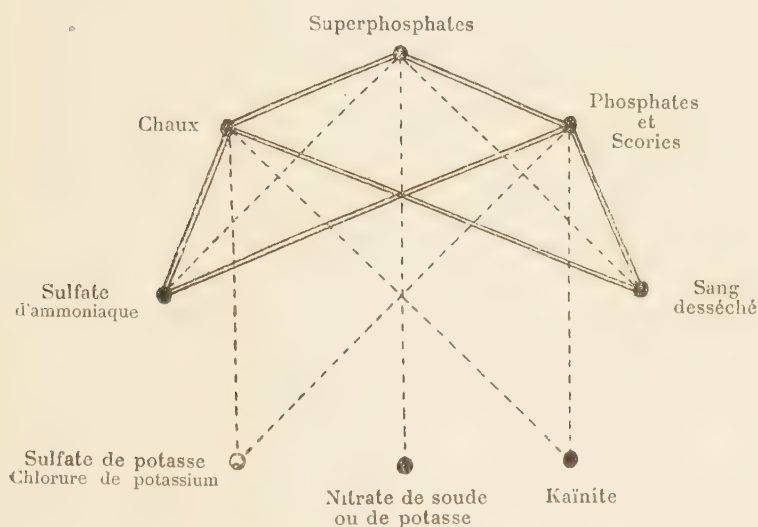


Fig. 5

Les lignes doubles, dans le tableau, indiquent les engrais dont le mélange est principalement à éviter.

Les lignes pointillées réunissent ceux dont le mélange, impossible en solutions aqueuses, peut avoir lieu à l'état solide, si on les incorpore au sol successivement, à deux jours d'intervalle.

Si on analyse un végétal ligneux, on trouve, dans les produits gazeux : du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène ; dans les cendres : de l'azote, du soufre, du phosphore, du chlore, du silicium, du potassium, du calcium, du magnésium, du fer, du sodium.

L'azote, le magnésium, le fer, le sodium n'entrent que pour

très peu dans la constitution du végétal ligneux ; d'ailleurs le magnésium et le fer se trouvent en surabondance dans tous les sols forestiers.

Le chlore et le silicium ne paraissent pas toujours nécessaires ; d'ailleurs le silicium se trouve en quantité presque suffisante par suite des apports dus aux poussières atmosphériques et aux parois du vase dans les cultures aqueuses, et dans tous les sols on le rencontre ; il n'y a donc pas à s'en occuper dans les expériences.

Le soufre et le potassium, indispensables à l'évolution complète du végétal, ne s'y incorporent que suivant une quantité extrêmement faible ; on rencontre, d'autre part, le potassium et le soufre en quantité suffisante dans tous les terrains forestiers, spécialement dans les terrains granitiques.

Quant au carbone, à l'hydrogène et à l'oxygène, ils sont empruntés à l'air et à l'eau ; nous n'avons pas à rechercher pour eux d'autres véhicules que l'air et l'eau.

Les corps les plus importants seront donc, en sylviculture, *le calcium et le phosphore*.

C'est ce que nos expériences ont confirmé, et c'est ainsi que nous serons conduits, par le raisonnement et par l'expérimentation, au choix judicieux des engrais minéraux les meilleurs dans les reboisements.

V. — LES DISPOSITIFS DES EXPÉRIENCES

Les substances employées ont été choisies avec le plus grand soin.

Le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque, le chlorure de potassium, le sulfate de potasse, le carbonate de potasse, le sulfate de chaux, la chaux, le carbonate de chaux, le sulfate de fer, étaient chimiquement purs.

Nous avons cherché, pour les principaux végétaux forestiers, l'action des engrais sur les semis, sur les repiquages, sur les rejets, sur les boutures. Nous avons examiné les modifications anatomiques les plus importantes produites sur la plante.

Pour que des expériences de cette nature puissent fournir des résultats indiscutables, se contrôlant les uns par les autres, il est nécessaire de faire des cultures en *eau distillée*, en *sol artificiel*, et en *terrain naturel*.

1° *En eau distillée*, nos cultures ont eu lieu dans des vases de verre à large ouverture, recouverts de manchons de papier noir, avec toutes les précautions nécessaires pour éviter au liquide et à la plante le contact de tout corps métallique.

Les plants étaient soutenus dans la solution, au niveau du

collet de la racine, par deux demi-rondelles de bois ou de liège, évidées en leur centre pour laisser passer le végétal, et dont la face inférieure était aussi rapprochée que possible de la surface libre du liquide, sans toutefois le toucher.

Ces deux demi-rondelles étaient fixées l'une à l'autre, et comprenaient entre elles, en leur centre, la plante ligneuse, qu'elles maintenaient sans la comprimer.

Les solutions étaient renouvelées aussi souvent qu'il était nécessaire.

Les questions de solubilité des corps et d'isotonisme ont, dans les cultures en solutions aqueuses, une importance de premier ordre. Deux corps solubles l'un à 1 gramme, l'autre à 10 grammes par litre ne donnent évidemment pas de résultats comparables si l'on met 2 grammes du premier dans un litre d'eau distillée et 2 grammes du second dans un autre litre d'eau distillée. Les cellules absorbantes de la plante se trouveront en présence de 1 gramme de corps étranger dans le premier cas et de 2 grammes dans le second cas. De plus, une solution d'un corps très soluble agit sur la plante non pas seulement par la masse du corps fourni aux cellules végétales, mais encore par influence purement physique d'osmose ; quand la solution est trop concentrée, il y a *plasmolyse*.

La teneur de nos substances en solution, dans nos essais, variait de 0 gr. 25 à 2 grammes par litre, en général.

Nous pensons qu'il y aurait également intérêt à rechercher des corps qui, à dose infinitésimale, peuvent jouer dans la végétation le rôle d'opsonines, c'est-à-dire un rôle purement stimulant et excitateur.

En effet, les liquides concentrés conviennent mal aux végétaux ligneux ; car ils ont de très minimes besoins, si on

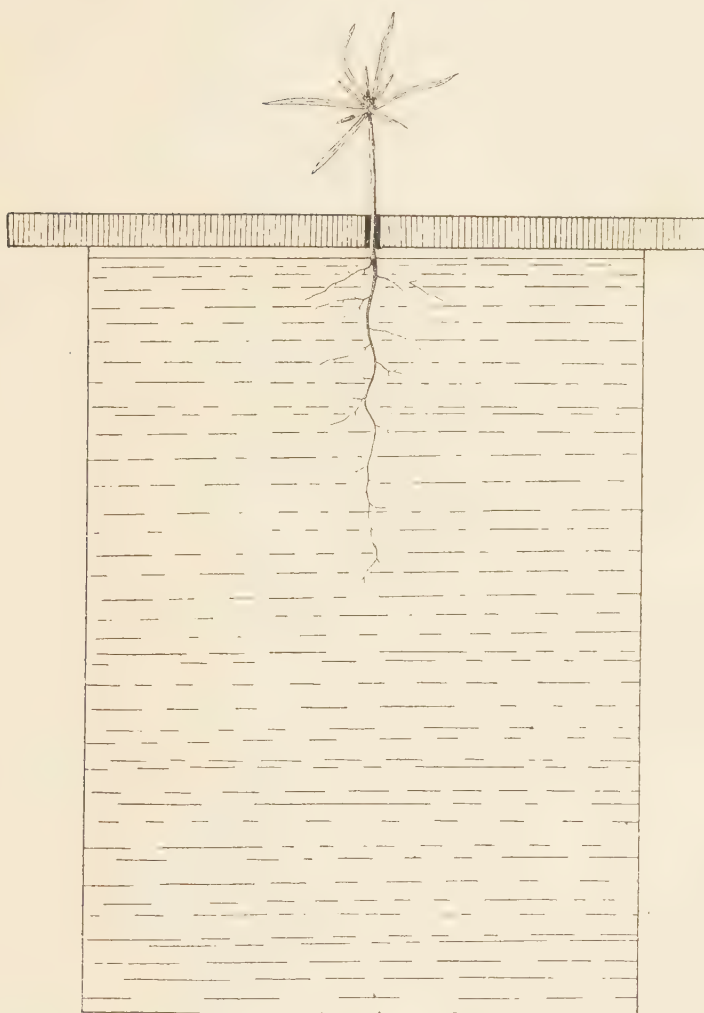


Fig. 6. — Dispositif d'une expérience en eau distillée.

les compare à ceux des espèces annuelles; et c'est ce qui ne contribue pas peu aux difficultés de leur étude.

2° *En sol artificiel*, nous avons procédé de deux manières :

Par cultures en pots ;

Par cultures en places d'essais.

Les pots en biscuit de Sèvres étaient lavés à l'acide chlorhydrique, calcinés, garnis au fond de briquettes concassées provenant des parois de fours à porcelaine. Au-dessus, on remplissait à l'aide de sable fin de Fontainebleau ou de la Loire, lavé à l'acide chlorhydrique et calciné. Les pots étaient troués ou fendus à la partie inférieure, pour assurer l'aération.

Ou bien les engrais étaient mélangés à l'état solide au sable fin en proportions déterminées, ou bien on procédait à des arrosages avec des solutions titrées, ou bien on mettait les pots dans des cuvettes contenant de l'eau distillée à laquelle on ajoutait les engrais ; et, dans ce cas, des couvercles annulaires en bois recouvraient le liquide des cuvettes, en laissant libres les surfaces des pots.

Les cultures en places d'essais étaient organisées de la manière suivante :

Dans un terrain qui n'a jamais reçu aucune fumure, on trace des emplacements de 1 mètre carré, distants de 1 mètre les uns des autres ; dans chaque carré, le sol naturel est enlevé sur une profondeur de 1 mètre et remplacé par du sable fin préalablement lavé ; ces masses siliceuses de 1 mètre cube dans chaque carré forment le substratum des expériences.

3° *En sol naturel*, nous avons choisi une terre de jardin de composition normale. Tantôt nous y avons tracé des emplacements de 1 mètre carré, distants de 1 mètre les uns des autres ; tantôt nous avons utilisé des planches ordinaires de 1 mètre de largeur et 10 mètres de longueur, dis-

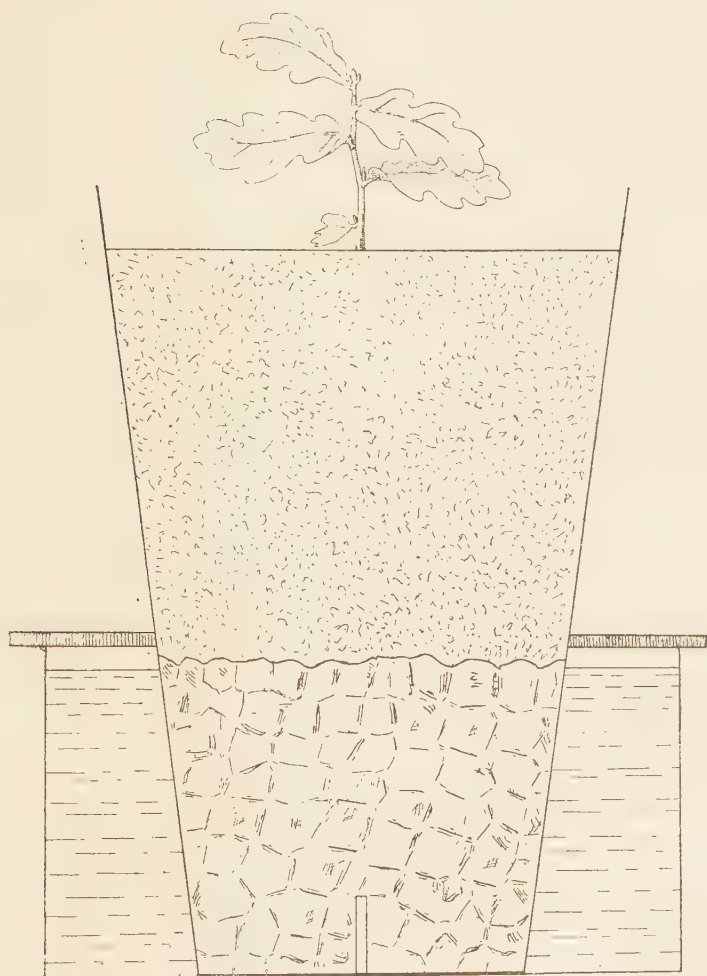


Fig. 7. — Dispositif d'une expérience en sol artificiel.

tantes de 1 mètre les unes des autres. Toutes les fois qu'il a été possible, les résultats ont été confirmés par des essais effectués sur le terrain même de la forêt.

VI. — EXPÉRIENCES EN EAU DISTILLÉE

Rappelons que c'est Duhamel du Monceau qui, le premier, en 1758, imagina la méthode de culture dans l'eau (Physique des arbres).

Il employait l'eau de fontaine ordinaire.

Pendant huit années, il réussit à conserver un chêne élevé dans cette eau ; la tige avait quatre branches ; sa hauteur était de 0 m. 486 et sa circonférence de base de 0 m. 045.

Duhamel ne manque pas d'observer lui-même que l'eau, même filtrée, contient divers sels pouvant agir sur la plante.

Le même savant mit en évidence l'action nuisible exercée sur les plantes par des solutions trop concentrées.

Il était nécessaire d'employer pour ces expériences de l'eau *distillée*. C'est ce que fit Th. de Saussure. Ses essais n'ont pas porté sur des végétaux forestiers ; mais une de ses conclusions s'y applique remarquablement :

« Quand on compare le poids de l'extrait que peut fournir le sol le plus fertile au poids de la plante sèche qui s'y est développée, on trouve qu'elle n'a pu y puiser qu'une très petite partie de sa propre substance. »

C'est également de l'eau distillée que nous avons utilisée pour toutes nos expériences, sauf une seule.

Un reproche qu'on peut adresser à la méthode de culture en milieu aqueux en général, c'est que la plante, habituée à vivre dans le sol, trouve, dans ce milieu spécial, des conditions d'existence qui modifient sa constitution. Mais les variations produites sur la plante par l'action propre de l'eau ont toujours lieu dans le même sens, quel que soit l'engrais en expérience.

Quand on emploie l'eau distillée du commerce, on peut craindre que cette eau, provenant d'appareils en cuivre, ne contienne des traces de cuivre, de zinc, de plomb. Ces traces, même non sensibles à l'analyse chimique, peuvent agir sur le végétal. Mais avec les engrais minéraux que nous avons essayés, sulfate de calcium, sulfate de potassium, chlorure de potassium, nitrate de soude, phosphate de calcium, etc., de pareilles traces métalliques ne peuvent donner de réaction ; dès lors, si ces traces métalliques ont une influence, l'influence s'exerce dans le même sens pour tous les corps expérimentés.

Un inconvénient beaucoup plus grave résulterait de l'emploi d'eau distillée dans des appareils en verre à la température de 100 degrés et à la pression atmosphérique normale ; car dans ces conditions le verre est attaqué et fournit ses produits de décomposition, notamment le calcium, qui possède, même à l'état de traces, la faculté d'agir sur le végétal ligneux et de donner des réactions avec la plupart de nos engrais minéraux en expérience.

Le seul moyen d'obtenir des résultats aussi rapprochés que possible de la certitude est d'employer de l'eau *distillée dans le vide* ; et c'est à l'aide de l'eau distillée ainsi obtenue que nous avons institué nos expériences de contrôle, grâce à la grande amabilité de M. le professeur Gabriel Bertrand, de l'Institut Pasteur.

La concordance obtenue entre les résultats fournis par l'eau distillée du commerce et ceux donnés par l'eau distillée dans le vide permet de considérer nos conclusions comme valables.

Aune glutineux

Alnus glutinosa

Expérience du 3 mai 1906.

Notre première expérience en milieu aqueux a porté sur l'aune glutineux, parce que cette essence s'accommode bien des régions marécageuses.

C'est un essai que nous avons effectué, en employant l'eau de fontaine ordinaire et les engrais minéraux à doses massives, 4 grammes par litre.

Les plants étaient des semis du printemps 1905, d'un poids moyen de 0 gr. 6.

Les vases sont d'une contenance de 1 litre, et chacun d'eux reçoit, dans 1 litre d'eau de fontaine, 4 grammes de chacun des corps suivants :

- N° 1. Sulfate d'ammoniaque ;
- 2. Nitrate de soude ;
- 3. Chlorure de potassium ;
- 4. Sulfate de potasse ;
- 5. Superphosphate de chaux ;
- 6. Scories Thomas ;
- 7. Chaux ;
- 8. Sulfate de chaux ;
- 9. Sulfate de fer ;

Le n° 10 sert de témoin, et n'a que de l'eau de fontaine ordinaire.

Au 25 mai 1906, seuls résistent :

L'aune du sulfate de chaux ;
Celui du superphosphate ;
Celui des scories ;
Celui du sulfate de potasse ;
Celui du témoin.

Au 4 août 1906, il ne reste plus que l'aune du sulfate de chaux et celui du témoin.

Le 4 août 1907, le plant du témoin continue à être en bon état de végétation et son poids est de 0 gr. 8.

Quant à celui du sulfate de chaux, sa végétation est beaucoup plus intense que celle du témoin ; il continue à développer encore de nouvelles feuilles, et son poids est de 1 gr. 2.

On peut en conclure que le sulfate de chaux, même à dose massive, possède une influence extrêmement favorable sur les végétaux ligneux du groupe des aunes, et peut être manié sans danger pour eux en sylviculture.

Chêne pédonculé

Quercus pedunculata

A. — SEMIS

1^o Expérience du 6 juin 1906 sur jeunes semis munis de leurs cotylédons.

Des solutions à 1 gramme par litre sont préparées, avec chaque corps à expérimenter, dans des vases en verre ainsi numérotés :

- N° 1. Témoin (eau distillée pure) ;
— 2. Sulfate de fer ;
— 3. Sulfate de chaux ;
— 4. Nitrate de soude ;
— 5. Sulfate d'ammoniaque ;
— 6. Sulfate de potasse ;
— 7. Chlorure de potassium ;
— 8. Superphosphate de chaux ;
— 9. Chaux.

Au 10 septembre 1906 :

Le semis du témoin se maintient ;

Celui du sulfate de chaux est en excellent état de végétation, et a produit un grand nombre de racines ;

Ceux du nitrate de soude et du sulfate d'ammoniaque sont envahis par des algues ;

Celui du chlorure de potassium se maintient ;

Celui du superphosphate est en très bon état de végétation ;

Celui de la chaux également ;

Les semis du sulfate de fer et du sulfate de potasse sont morts.

L'examen, au 6 juin 1907, permet de constater les faits suivants :

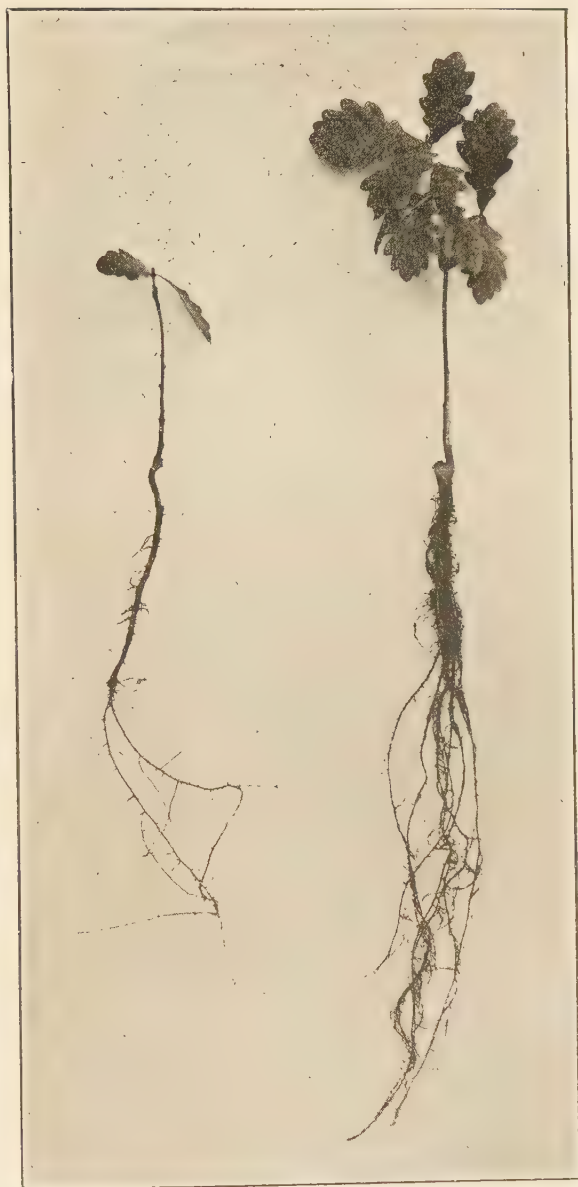
Le témoin est en assez bon état de végétation ;

Le plant du superphosphate est en bon état ;

Les plants du sulfate de chaux et de la chaux sont les plus beaux ;

Tous les autres sont dépérissants ou morts.

On observe que les feuilles produites par la *chaux* sont *plus petites* que celles produites par le *sulfate de chaux*.



B A
Fig. 8. — Chêne pédonculé.

Action des superphosphate et sulfate de calcium

Expérience du 19 juin 1907 au 10 novembre 1908.

A. — Chêne en solution de sulfate de calcium.

B. — Chêne en eau distillée

2° Expérience du 19 juin 1907.

Les dispositifs sont les mêmes que dans l'expérience du 6 juin 1906, sauf que les solutions sont portées à 2 0/00.

On constate l'excellente végétation du chêne dans le superphosphate et le sulfate de calcium, ainsi que dans la chaux, un état médiocre dans l'eau distillée, les sulfates de magnésie et de manganèse, le chlorure de potassium ; les autres corps sont toxiques.

La situation est la même au 10 novembre 1908.

3° Expérience du 3 juillet 1906 sur jeunes semis dépourvus de leurs cotylédons.

On prépare, à l'aide d'eau distillée, des solutions à 1 gramme par litre des substances suivantes :

- N° 1. Superphosphate de chaux ;
- 2. Nitrate de soude ;
- 3. Chlorure de potassium ;
- 4. Sulfate de fer ;
- 5. Sulfate de chaux ;
- 6. Sulfate de magnésie ;
- 7. Cendres de bois ;
- 8. Sulfate d'ammoniaque ;
- 9. Sulfate de potasse ;
- 10. Chaux.

On installe un plant dans chaque solution ; d'une contenance de 1 litre également, un vase en verre ne reçoit que de l'eau distillée et sert de témoin.

On prépare également les mélanges quatre par quatre des diverses solutions des corps indiqués, en versant parties égales dans des vases de 1 litre.

Le sulfate de chaux et le superphosphate réussissent très bien (avec *de larges feuilles* dans le sulfate de chaux).

La chaux réussit bien, (en donnant *de petites feuilles*).

Le chlorure de potassium et le sulfate de potasse n'ont pas eu d'influence toxique ; il en est de même du sulfate de magnésie.

Il en est de même aussi des cendres de bois et du nitrate de soude, à cette dose de 1 gramme par litre.

L'eau distillée, témoin, a simplement maintenu la vie du végétal.

Le mélange des quatre corps : sulfate de chaux, superphosphate de chaux, chlorure de potassium ou sulfate de potasse, avec traces de sulfate de fer, a donné un résultat meilleur que celui des autres mélanges.

L'examen au 30 juin 1907 et à la fin de 1907 a confirmé ces observations.

Chêne pédonculé

Quercus pedunculata

B. — REJETS DE TIGE

1° Expérience du 18 juin 1907.

Cette expérience porte sur les rejets de tige de chêne pédonculé. C'est une des plus intéressantes et des plus importantes qu'on puisse réaliser sur des végétaux ligneux.

Nous avons choisi, dans une pépinière, des plants de chêne

pédonculé âgés de trois ans, de dimensions aussi égales que possible, provenant de glands identiques, ayant poussé dans des terrains de même composition chimique.

Nous les avons recépés au niveau du collet de la racine, et nous avons *habillé* les enracinements de la même manière, de telle sorte que les poids de chaque plante ainsi recépée se rapprochaient tous très sensiblement de 18 gr. 66.

Nous les avons placés dans des éprouvettes de 1/2 litre contenant de l'eau distillée avec 1 gramme de chacun des corps expérimentés :

- N° 1. Sulfate de chaux ;
- 2. Chaux pure ;
- 3. Superphosphate de chaux ;
- 4. Chlorure de potassium ;
- 5. Nitrate de soude ;
- 6. Superphosphate, + chlorure de potassium, + sulfate de chaux ;
- 7. Nitrate de soude, + chlorure de potassium ;
- 8. Sulfate de magnésie ;
- 9. Sulfate de manganèse ;
- 10. Eau distillée pure.

Au 4 août 1907, les résultats, très remarquables, ont été les suivants :

Le sulfate de chaux a donné de superbes rejets avec de *larges feuilles normales* ;

La chaux a donné de beaux rejets à *petites feuilles* ;

Le superphosphate a fourni de petits rejets ;

Le sulfate de magnésie porte des rejets semblables à ceux du superphosphate ;

Le sulfate de manganèse un semblant de rejet, bientôt mort ;



Fig. 9. — Chêne pédonculé.

Rejets de tige de trois ans, Action de la chaux et du sulfate de chaux en eau distillée.
Expérience du 18 juin 1907 au 4^{er} octobre 1907.

A. — Culture dans le sulfate de chaux. — B. — Culture dans la chaux.

Tous les autres corps et mélanges n'ont rien produit.

Le sulfate de chaux a fourni des racines nouvelles ; les autres corps n'en ont pas donné.

Voilà donc des tronçons de plants de chênes dont beaucoup de grosses et petites racines ont été sectionnées, des plants qui ont subi un long transport par les temps les plus chauds et en pleine végétation ; tous ceux qui ont été mis en même temps dans une bonne terre et incessamment arrosés sont morts ; le plâtre, la chaux et le superphosphate ont revivifié ces cadavres de plantes ; le plâtre, par son action propre, a produit des bourgeons avec des feuilles absolument normales. En agissant soit directement sur le protoplasma des cellules, soit indirectement sur les ferments qui déterminent l'évolution des réserves, le sulfate de chaux a opéré de remarquables transformations vitales.

Au point de vue pratique, on voit quels résultats féconds l'on peut déduire de ces essais :

Excellents effets produits sur les plants quand on les trempe dans une solution de plâtre avant de les mettre en place, principalement quand ils risquent de s'échauffer en raison du temps et de la saison ;

Rénovation des taillis de chênes par l'action du plâtre ;

Utilité du plâtre dans les repiquages en terrains pauvres, en le mélangeant à la terre de plantation ;

Facilité de conserver la vitalité des plants en les trempant dans une solution plâtrée avant de les faire voyager, etc...

2° *Expérience du 7 août 1907.*

Cette expérience n'est que la répétition de celle du 18 juin 1907, relative aux rejets de tige de chêne pédonculé. Le dis-

positif est le même. On a obtenu des rejets dans les solutions de sulfate de chaux, de carbonate de chaux, de chaux, de superphosphate, de phosphate tricalcique, par ordre d'importance.

On en a encore constaté dans le sulfate de magnésie et le sulfate de manganèse (rejets médiocres).

L'eau distillée, le nitrate de soude, le mélange de scories, de nitrate de potasse et de chaux ont produit des rejets insignifiants.

Le sulfate de potasse et le chlorure de potassium ont toujours donné des résultats *négatifs*, même à cette époque de l'année où les réserves et les diastases végétales ont déjà considérablement évolué.

3° Expérience du 12 août 1907.

Cette expérience très délicate et très importante indique nettement les corps qui sont le plus capables d'agir sur la végétation du chêne.

Nous avons choisi de jeunes semis de chênes pédonculés du printemps 1907 ; nous les avons pris aussi égaux que possible comme poids et comme dispositions de tiges et de racines, et provenant de glands identiques ; nous avons enlevé leurs cotylédons.

D'autre part, nous avons préparé une série de vases de 1 litre d'eau distillée, contenant les substances suivantes :

N° 1. Eau distillée ;

— 2. Solution de sulfate de chaux à 2 gr. par litre ;

— 3. — chaux pure —

— 4. — carbonate de chaux —

N° 5. Solution de superphosphate à 2 gr. par litre ;

— 6. — chloruré de potassium . —

— 7. — nitrate de soude —

— 8. Solution de $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ gr. scories ;} \\ 1 \text{ gr. nitrate de potasse ;} \\ 1 \text{ gr. chaux} \end{array} \right\} \text{ dans 1 litre d'eau distillée.}$

Dans chaque vase nous avons introduit deux jeunes plants : l'un dont la tige était entière, l'autre dont la tige était recépée immédiatement au-dessus de son premier entre-nœud, et par conséquent immédiatement au-dessus de son premier bourgeon encore à l'état embryonnaire.

Nous avons voulu chercher quels étaient les engrais minéraux pouvant le plus rapidement et le plus facilement développer ce premier bourgeon, ce premier rudiment de branche.

Nous avons ainsi un criterium remarquable pour apprécier, à son exacte valeur, l'action de ces diverses substances.

L'examen au 15 août 1907 donne déjà les résultats suivants :

Le sulfate de chaux a complètement développé le bourgeon terminal du chêne recépé ; il a six centimètres de longueur ;

Le carbonate de chaux et la chaux n'ont fait que gonfler fortement ce bourgeon terminal ;

Le mélange complet n° 8 l'a gonflé légèrement ;

Les autres corps n'ont produit aucun effet.

Au 6 octobre 1907 :

L'eau distillée a maintenu la végétation du chêne non recépé, et produit un très médiocre développement du bourgeon du plant recépé ;

Le mélange n° 8 a agi exactement de même ;

Le nitrate de soude a fait périr le chêne non recépé et

agi comme l'eau distillée sur le bourgeon du plant recépé ;
 Il en est de même du chlorure de potassium ;
 Le superphosphate a maintenu la végétation du chêne

SO⁴Ca

CaO

KCl

Fig. 10. — Chêne pédonculé, semis du printemps 1907.

Rejet de tige.

Développement d'un bourgeon de l'année.

Action comparative du sulfate de chaux, de la chaux,
 du chlorure de potassium, de l'eau distillée.

Expérience du 7 août 1907 au 7 octobre 1907.

SO⁴Ca. — Sulfate de chaux.

CaO. — Chaux.

KCl. — Chlorure de potassium et eau distillée.

non recépé et produit un faible développement du bourgeon dans le chêne recépé ;

Dans la chaux pure, nous avons constaté l'évolution du

bourgeon terminal du chêne recépé en une ramification à *petites feuilles*.

Le *carbonate* et le *sulfate de chaux* ont conservé une bonne végétation au chêne non recépé, et fait développer le bourgeon terminal du chêne recépé en une ramification à *grandes feuilles normales*.

4° Expérience du 22 mai 1908.

L'expérience porte sur des semis du printemps 1908, recépés au-dessus de deux bourgeons et mis dans les solutions suivantes, dont la formule est due à M. Roux, du Museum :

N° 0. Eau distillée pure.

		gr.
	PO ⁴ H ² K	0,3
	NaCl	0,1
— 1. Engrais complet.	SO ⁴ Mg.	0,1
	SO ⁴ Ca.	1,0
	CO ² Ca.	1,0
	AzO ³ Na	1,0
— 2. Engrais sans azote	PO ⁴ H ² K	0,3
	NaCl	0,1
	SO ⁴ Mg.	0,1
	SO ⁴ Ca.	1,0
	CO ² Ca.	1,0
— 3. Engrais sans phosphore.	NaCl	0,1
	SO ⁴ Mg.	0,1
	SO ⁴ Ca.	1,0
	CO ² Ca.	1,0
	AzO ³ Na	0,6
	AzO ³ K	0,4

N° 4. Engrais sans potassium.	{	$\text{PO}^4\text{H}^2\text{Na}$	0,3
		NaCl	0,1
		SO^4Mg	0,1
		SO^4Ca	1,0
		CO^3Ca	1,0
		AzO^2Na	1,0
— 5. Engrais sans calcium .	{	$\text{PO}^4\text{H}^2\text{K}$	0,3
		NaCl	0,1
		SO^4Mg	0,1
		AzO^2Na	1,0
		CO^3K	0,2

Les vases sont d'un litre.

Dans tous ces vases, sauf le témoin, on a ajouté quatre gouttes de sulfate de fer à 1 0/00, et 10 centimètres cubes de délayure de terre de jardin. Les jeunes chênes ont été privés de leurs cotylédons.

Le résultat, constaté au 4 novembre 1908, est le suivant :

N° 0. *Eau distillée* : Le jeune chêne est mort avec les deux bourgeons à peine développés.

N° 1. *Engrais complet* : Le chêne a les deux rejets bien développés, avec un vigoureux enracinement.

N° 2. *Engrais sans azote* : Même résultat qu'avec l'engrais complet.

N° 3. *Engrais sans phosphore* : Le chêne est mort, avec un rejet d'une faible végétation.

N° 4. *Engrais sans potassium* : Le chêne est bien vivace et bien enraciné, avec les deux bourgeons développés.

N° 5. *Engrais sans calcium* : Le chêne est mort, après n'avoir donné qu'une esquisse de développement du bourgeon.

Ces résultats montrent, à la fois, l'importance des sels de calcium en expérience, pour la végétation des ligneux, et l'influence nuisible des sels de potassium.

C. — REJETS DE RACINES

Expérience du 13 juillet 1907.

Nous avons essayé d'obtenir des rejets de racines de chêne. La tentative était intéressante en ce sens qu'elle pouvait conduire à des déductions importantes au point de vue de l'exploitation des taillis de cette essence, qui est la première des essences forestières.

De jeunes plants de chênes de deux ans ont été recépés *au-dessous du collet* de la racine, et mis dans des vases de 1 litre d'eau distillée contenant 2 grammes de chacun des corps suivants respectivement :

Superphosphate de calcium, sulfate de calcium, chlorure de potassium, nitrate de sodium, chaux, carbonate de chaux, sulfate de magnésie, sulfate de manganèse.

L'expérience a été complètement négative.

Ce résultat concorde avec ceux de M. Dubard.

M. Dubard, dans ses recherches sur les plantes à bourgeons radicaux, a constaté que les rejets, chez les chênes pédonculé et rouvre, sont fournis par l'extrémité inférieure de la tige.

Il a conclu de ses travaux que :

« La multiplication par bourgeons radicaux est un fait peu normal dans le règne végétal, et donne des rejets d'organisation inférieure dans la plupart des cas ; chez quelques espèces elle tend à s'établir d'une façon régulière, mais ne devient qu'exceptionnellement une sauvegarde effective de l'espèce. »

Le peuplier-tremble (*populus tremula*) est une de ces espè-

ces ligneuses où la multiplication par bourgeons radicaux, par *drageonnement*, se produit régulièrement, chaque fois que l'on découvre le sol de la forêt par suite des coupes et qu'on le rend accessible directement aux rayons solaires.

Bouleau commun

Betula alba.

REJETS DE TIGES ET DE RACINES.

Expérience du 17 juillet 1907.

Nous avons essayé de faire produire des rejets de tiges et de racines à de jeunes bouleaux de deux ans dans des solutions d'eau distillée contenant 2 grammes de tous les corps déjà expérimentés.

Le sulfate de chaux et la chaux ont, seuls, donné des rejets de tige, qui, d'ailleurs, sont morts quelques jours après leur production.

L'expérience, bien que négative en partie, est cependant intéressante en ce sens qu'elle montre la puissance d'action du sulfate de calcium sur la végétation des plants forestiers, même à cette époque relativement tardive.

Peuplier-tremble

Populus tremula

A. — REJETS DE RACINES

Expérience du 27 juillet 1907.

Le peuplier-tremble est une essence qui donne des rejets de racines, qui *drageonne*, avec la plus grande facilité.

Nous avons préparé dix éprouvettes contenant chacune 1/2 litre d'eau distillée avec 1 gramme de chaque substance expérimentée; on met deux racines de tremble par vase.

Le N° 1 est de l'eau distillée pure.

- 2 est une solution de sulfate de chaux.
- 3 — carbonate de chaux.
- 4 — chaux pure.
- 5 — superphosphate de chaux.
- 6 — chlorure de potassium.
- 7 — nitrate de soude.
- 8 — sulfate de magnésie.
- 9 — sulfate de manganèse.
- 10 est une solution contenant $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ gr. de superphosphate;} \\ 1 \text{ gr. de plâtre;} \\ 1 \text{ gr. de chlorure de potas-} \\ \text{sium.} \end{array} \right.$

Au 5 octobre 1907, on constate que toutes les racines ont donné des rejets, *sauf celles du chlorure de potassium et du sulfate de manganèse.*

Le *nitrate de soude* ne donne de rejets que sur une seule des deux racines, et ce rejet meurt au bout de quelques jours.

On constate ainsi l'influence défavorable du *chlorure de potassium*, du *sulfate de manganèse* et du *nitrate de soude*.

B. — REJETS DE TIGES ET BOUTURAGES

Expérience du 13 août 1907.

Cette expérience, comme celle du 27 juillet 1907, porte sur l'essence tremble; mais elle concerne la tige et la bouture de tige.

Dans des vases en verre de 1 litre, on met des solutions à 2 grammes par litre des principaux engrais minéraux, et on place dans chaque bocal une bouture de tremble avec trois feuilles, ou un jeune plant de tremble de deux ans recépé au collet.

Au 5 octobre 1907, on constate que la bouture a réussi seulement dans le sulfate, le carbonate et le superphosphate de chaux et dans le phosphate tricalcique.

Tous les corps en expérience ont fourni des rejets de tige, *sauf le chlorure de potassium et le sulfate de potasse*; mais, à cette date, les rejets provenant du sulfate et du carbonate de calcium se sont seuls maintenus en bon état de végétation.

Frêne commun

Fraxinus excelsior

SEMIS

Expérience du 2 juin 1908.

De jeunes plants de frêne, *semés au printemps 1907, et levés au printemps 1908*, sont mis dans les solutions suivantes :

- N° 1. Solution Knop complète ;
- 2. Solution Knop sans nitrate de calcium ;
- 3. Solution Detmer complète ;
- 4. Solution Detmer sans sulfate de calcium.

Au 6 novembre 1908, le jeune frêne est en très bonne végétation dans la solution Knop complète ; au contraire,

dans la solution Knop sans nitrate de calcium le plant est dépérissant.

A la même date, l'exemplaire de la solution Detmer complète est en excellent état ; celui de la solution Detmer sans sulfate de calcium est mort depuis le commencement de septembre.

Sapin pectiné

Abies pectinata

A. — ENGRAIS SIMPLES

1° *Expérience du 4 juin 1906.*

Neuf vases d'une contenance de 1 litre sont remplis d'eau distillée ; on y ajoute 1 gramme des substances d'essai.

- N° 1. Témoin (eau distillée) ;
— 2. Solution à 1/1000 de sulfate de fer ;
— 3. — sulfate de calcium ;
— 4. — nitrate de sodium ;
— 5. — sulfate d'ammonium ;
— 6. — chlorure de potassium ;
— 7. — sulfate de potassium ;
— 8. — superphosphate de calcium ;
— 9. — chaux.

Dans chaque vase on introduit deux jeunes plants de sapin pectiné (semis de l'année).

Au 16 juin 1906, les deux sapins de la chaux sont morts ; il en est de même au 5 juillet pour les deux sapins du sulfate de fer, au 27 août pour ceux du sulfate d'ammonium, et au 30 décembre 1906 pour ceux du nitrate de sodium.

Au 12 avril 1907, il ne reste de vivant que les plants suivants :

- N° 1. Témoin ;
- 3. Sulfate de chaux ;
- 6. Chlorure de potassium ;
- 7. Sulfate de potasse ;
- 8. Superphosphate de chaux.

Le 15 juin 1907, on constate sur les plants :

- N° 1. (Témoin) Une pousse minuscule avec de petites feuilles étiolées ;
- 3. (Plâtre) De très belles pousses avec grandes feuilles pâles ;
- 6. (Chlorure de potassium) De petites pousses d'un vert pâle ;
- 7. (Sulfate de potasse) Aucune pousse ;
- 8. (Superphosphate) De très belles pousses avec grandes feuilles d'un vert sombre, parfaitement normales.

Au 4 août 1907 la situation est la même qu'au 15 juin. On voit que les stimulants de la végétation pour le sapin pectiné sont, par ordre d'intensité, pour 1 gramme par litre :

- N° 1. Le superphosphate de chaux ;
- 2. Le sulfate de chaux ;
- 3. Le chlorure de potassium ;
- 4. L'eau distillée.

On peut en déduire que les engrais minéraux de choix sont, dans ce cas, *le superphosphate de chaux et le sulfate de chaux*.

L'expérience est continuée en 1908.

Au 10 novembre 1908, on constate :

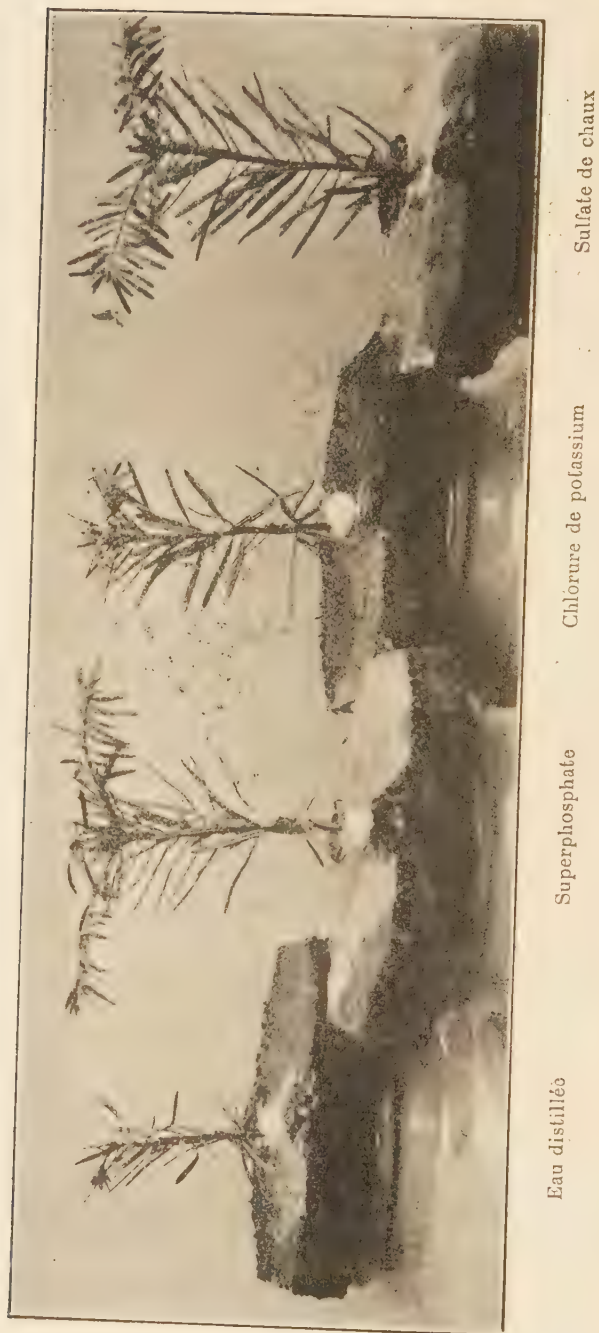


Fig. 11. — Sapin pectiné.

Action comparative de l'eau distillée, du chlorure de potassium, du sulfate de chaux, du superphosphate.

Expérience du 4 juin 1906 au 4 août 1907



A

B

Fig. 12. — Sapin pectiné.

Expérience du 4 juin 1906.

Photographie du 16 juillet 1908.

- A. — Sapin en solution de superphosphate de chaux.
 B. — Sapin en eau distillée pure.

Une pousse bien vivante et des feuilles normales dans le superphosphate ; le même bon état dans le sulfate de calcium, mais avec des feuilles un peu pâles ; le simple maintien de la vie, sans aucune pousse, dans l'eau distillée.

2° Expérience du 30 juin 1906.

Cette expérience, faite sur de jeunes semis de sapin pectiné, a confirmé celle du 4 juin.

Des bouteilles ordinaires de 1 litre ont reçu chacune un plant ; elles contenaient, dans l'eau distillée, respectivement, 1 gramme des substances suivantes :

Superphosphate de chaux ;
Nitrate de soude ;
Chlorure de potassium ;
Sulfate de magnésie ;
Sulfate de chaux ;
Sulfate de fer ;
Cendres de bois ;
Sulfate d'ammoniaque ;
Sulfate de potasse ;
Chaux.

Au 11 avril 1907, il ne reste plus que les plants :

Du sulfate de chaux ;
Du superphosphate de chaux ;
Du chlorure de potassium ;
Du sulfate de potasse ;
Du sulfate de magnésie.

Au 20 avril 1907, une insolation trop brusque fait périr ces cinq plants.

Ce fait démontre, une fois de plus, l'immense rôle joué par les agents physiques externes sur les végétaux forestiers, et notamment l'influence du degré de lumière sur le sapin pectiné, qui, dans son jeune âge, est, essentiellement, une essence d'ombre.

3° Expérience du 19 juin 1907.

Cet essai vient confirmer l'expérience du 4 juin 1906.

On place dans des vases de 1 litre d'eau distillée un semis de sapin pectiné.

On introduit dans chaque vase 2 grammes de chacun des corps suivants :

Superphosphate, sulfate de calcium, chaux, chlorure de potassium, nitrate de sodium, sulfates de magnésium et de manganèse.

Le huitième vase contient de l'eau distillée pure.

Au 10 novembre 1907, le sapin pectiné est en excellent état dans le *sulfate de calcium* et le *superphosphate* ; il se maintient dans l'eau distillée, le chlorure de potassium, les sulfates de magnésium et de manganèse ; il est mort dans le nitrate de sodium et la *chaux*.

Le 10 novembre 1908, la végétation est parfaite *dans le superphosphate*, où le jeune plant a produit une pousse avec des feuilles de *coloration normale*, et *dans le sulfate de calcium*, où les feuilles ont une teinte *plus pâle que la normale* (différences dans la constitution de la chlorophylle).

Le plant s'est maintenu sans aucune pousse dans la solution de *sulfate de magnésie*, et *dans l'eau distillée pure* ; le



C

B

A

Fig. 13. — Sapin pectiné.

Action des superphosphate et sulfate de calcium.

Expérience du 19 juin 1907 au 10 novembre 1908.

Sapin pectiné { A. Dans la solution de superphosphate.
B. Dans la solution de sulfate de calcium.
C. En eau distillée.

Photographie du 10 novembre 1908.

magnésium n'a pas été nuisible, mais n'a eu *aucune action* ; l'eau, sans pouvoir stimuler la végétation, a néanmoins *conservé la vie* du végétal ; dans les autres solutions les sapins sont morts.

B. — ENGRAIS COMPOSÉS

1^o Expérience du 29 juin 1906.

Nous avons rempli d'eau distillée une série de flacons en verre d'une contenance de 1 litre.

Sans tenir compte des réactions chimiques des divers corps les uns sur les autres, nous avons combiné deux à deux, puis trois à trois, à la dose de 0 gr. 25 chacune, en y ajoutant des traces de sulfate de fer, les diverses substances suivantes :

Superphosphate de chaux ;
Chlorure de potassium ;
Sulfate d'ammoniaque ;
Sulfate de chaux ;
Nitrate de soude.

Nous avons placé dans chaque vase un jeune plant de semis de sapin pectiné.

Au 30 juin de l'année suivante (1907), les mélanges qui nous ont donné la meilleure végétation sont les suivants :

{ Superphosphate de chaux ;
Sulfate de chaux ;
avec traces de sulfate de fer,
(pour les combinaisons de deux corps),

{ Superphosphate de chaux ;
{ Sulfate de chaux ;
{ Chlorure de potassium ;
{ avec traces de sulfate de fer,
{ (pour les combinaisons de trois corps).

2° Expérience du 30 mai 1907.

Dans une série de bocaux contenant chacun 1 litre d'eau distillée, nous avons mis en solution, en tenant compte des prescriptions nécessaires pour éviter toute attaque d'une substance sur l'autre, tous les mélanges qu'on peut combiner avec les engrais courants :

Superphosphate ;
Sulfate de chaux ;
Chlorure de potassium ;
Nitrate de soude ;
Scories ;
Chaux ;
Kaïnite ;
Sulfate de magnésie ;
Sulfate d'ammoniaque.

Chaque corps était à la dose de 0 gr. 50.

Dans chaque bocal nous avons introduit un jeune semis de sapin pectiné.

Au 5 octobre 1907, le résultat a été le même que dans l'expérience précédente.

La meilleure végétation était donnée par le mélange de superphosphate et de sulfate de chaux.

3^e Expérience du 2 juin 1908.

Des semis du printemps 1908 sont placés dans les solutions :

Knop ;

Knop sans nitrate de calcium ;

Detmer ;

Detmer sans sulfate de calcium.

Au 6 novembre le sapin de la solution Knop végète très bien ; celui de la solution Knop *sans nitrate de calcium* a un bourgeon terminal plus petit.

L'exemplaire de la solution Detmer est également en très bon état ; celui de la solution Detmer dépourvue de *sulfate de calcium* est mort.

Pin maritime

Pinus maritima

Expérience du 1^{er} août 1906.

Nous avons rempli d'eau distillée des vases en verre de 1 litre et mis en solution les substances suivantes, à la dose de 1 gr. 1/2 :

Superphosphate de chaux ;

Chlorure de potassium ;

Nitrate de soude ;

Sulfate de magnésie ;

Sulfate de chaux ;

Sulfate de fer (0 gr. 50 seulement).

Un bocal de 1 litre d'eau distillée pure est le témoin.

Nous plaçons dans chaque vase un jeune semis de pin maritime.

Au 4 juin 1907, nous retrouvons, sans changement : les plants de pins maritimes dans le sulfate de chaux, le superphosphate, l'eau distillée, le sulfate de magnésie. Les autres plants sont morts.

L'examen au 8 août 1907 a donné les résultats suivants :

Les plants de l'eau distillée et du sulfate de magnésie se sont maintenus, sans pousser ;

Le plant du superphosphate est en belle végétation, mais n'a pas donné de feuilles définitives ;

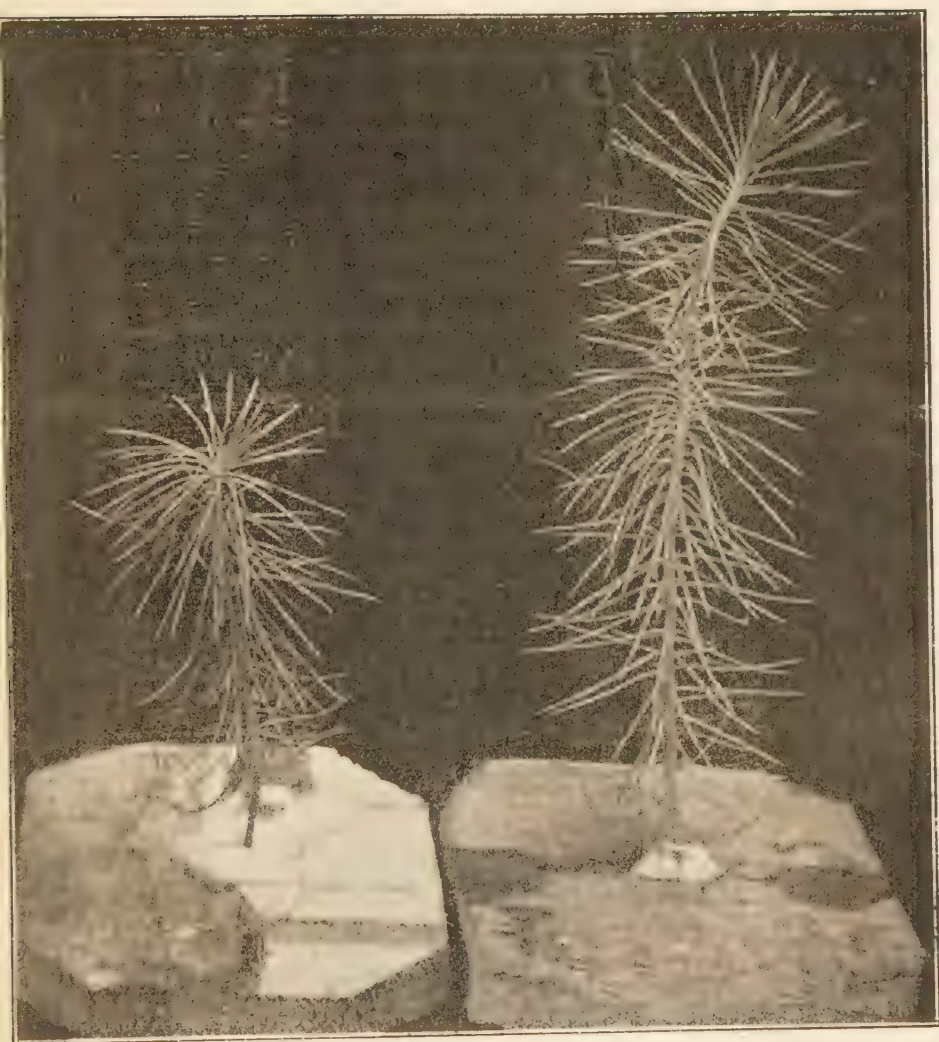
Le plant du *sulfate de chaux* a une végétation remarquablement plus intense que tous les autres, et a *seul donné des feuilles définitives*.

Au 30 octobre 1907, la situation finale, à l'arrêt de la végétation, est celle-ci :

Le sulfate de chaux a constitué cinq belles paires de feuilles définitives ;

Le superphosphate a formé deux paires de feuilles définitives ;

Le plant du sulfate de magnésie se maintient, mais sans aucune feuille définitive ; il en est de même dans l'eau distillée ; de plus, le plant de l'eau distillée a tendance au dépérissement.



H₂O

SO₄Ca

Fig. 14. — Pin maritime.

Action comparative de la solution de sulfate de chaux et de l'eau distillée.
 Production de feuilles définitives par la solution de sulfate de chaux.
Expérience du 1^{er} août 1906 au 1^{er} octobre 1907.

Pin Sylvestre

Pinus sylvestris

1^{re} Expérience du 6 août 1907.

Nous avons examiné si la végétation de jeunes semis de pins sylvestres du printemps 1907 se maintenait en bon état dans les solutions de 1 gramme par litre des divers engrais minéraux.

Dans chaque bocal de 1 litre nous avons placé un groupe de quatre jeunes semis de pins sylvestres. Ces bocaux sont ainsi numérotés :

- N^o 1. Eau distillée ;
- 2. Sulfate de chaux ;
- 3. Chaux ;
- 4. Carbonate de chaux ;
- 5. Superphosphate ;
- 6. Chlorure de potassium ;
- 7. Nitrate de soude ;
- 8. Sulfate d'ammoniaque ;
- 9. Sulfate de potasse ;
- 10. Sulfate de magnésie ;
- 11. Scories (1 gr.) + nitrate de potasse (1 gr.) + chaux (1 gr.).

L'examen, au 30 octobre 1907, donne les résultats suivants :

Le sulfate d'ammoniaque a fait périr tous les plants ;

La végétation est languissante dans l'eau distillée, la chaux, le nitrate de soude, le chlorure de potassium, le sulfate de potasse, le mélange n^o 11 ;



B A

Fig. 15. — Pin Sylvestre.

Action des sulfate et superphosphate de calcium.

Expérience du 6 août 1907 au 10 novembre 1908.

A. — 2 pins sylvestres en solution de superphosphate de calcium.

B. — 2 pins sylvestres en eau distillée.

Il y a maintien de la végétation dans le sulfate de magnésie, le carbonate de chaux, le superphosphate ;

La végétation est très belle dans le groupe des pins disposés dans la solution de *plâtre*.

Au 4 novembre 1908, l'action du plâtre et du superphosphate continue d'une manière excellente ; les jeunes pins du carbonate de chaux sont en bon état ; ceux du sulfate de magnésie et de l'eau distillée sont languissants ; ceux des autres solutions ont péri.

2° *Expérience du 30 août 1907.*

Nous avons transporté en eau distillée de jeunes plants de pins sylvestres provenant de semis 1906, et repiqués au printemps 1907.

Dans chaque vase de 1 litre nous avons mis deux plants de pins.

Les divers engrais minéraux, en solutions à 2 0/00, étaient :

Sulfate de calcium, superphosphate, carbonate de calcium, chaux, chlorure de potassium, nitrate de sodium, sulfate de magnésium, sulfate de manganèse, mélange de scories (1 gr.), nitrate de potassium (1 gr.), et chaux (1 gr.).

Un vase d'eau distillée servait de témoin.

Au 12 janvier 1908 :

Les plants du nitrate de sodium, du chlorure de potassium et du sulfate de manganèse sont morts ;

Ceux de la chaux, du sulfate de magnésium, de l'eau distillée, du mélange complet sont languissants ;

Ceux du sulfate, du superphosphate et du carbonate de calcium présentent une très belle apparence.

Au 4 novembre 1908, restent vivants les plants des solutions suivantes :

Sulfate, superphosphate et carbonate de calcium ; chaux ; eau distillée.

Un des jeunes pins sylvestres contenu dans le carbonate de calcium a développé remarquablement son bourgeon du centre, avec des feuilles normales.

Le pin sylvestre étant classé parmi les essences *calcifuges*, il est intéressant de constater son excellente végétation dans une solution de *carbonate de calcium chimiquement pur*.

Charme. — Pins maritime, sylvestre, noir

Carpinus betulus

Pinus maritima

P. sylvestris *P. austriaca*

Expérience du 20 juin 1907.

Des vases en verre de 1 litre reçoivent les corps suivants :

N^o 1. Eau distillée, témoin.

— 2. — + 1 gr. sulfate de chaux.

— 3. — + 1 gr. chaux.

— 4. — + 1 gr. superphosphate de chaux.

— 5. — + 1 gr. nitrate de soude.

— 6. — + 1 gr. chlorure de potassium.

— 7. — + 1 gr. ââ $\left\{ \begin{array}{l} \text{superphosphate;} \\ \text{chlorure de po-} \\ \text{tassium;} \\ \text{plâtre;} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \text{engrais sans} \\ \text{azote.} \end{array} \right\}$

— 8. — + 1 gr. ââ $\left\{ \begin{array}{l} \text{scories;} \\ \text{nitrate de soude;} \\ \text{chaux pure;} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \text{engrais sans} \\ \text{potasse.} \end{array} \right\}$

N° 9.	Eau distillée	+ 1 gr. ââ	$\left\{ \begin{array}{l} \text{nitrate de soude;} \\ \text{chlorure de po-} \\ \text{tassium;} \end{array} \right.$	engrais sans phosphore.
— 10.	—	+ 1 gr. ââ	$\left\{ \begin{array}{l} \text{scories;} \\ \text{nitrate de po-} \\ \text{tasse;} \\ \text{chaux pure;} \end{array} \right.$	engrais complet.

Dans chaque vase on place un jeune semis de chacune des essences suivantes : charme, pin maritime, pin sylvestre, pin noir.

Au 30 octobre 1907, le charme s'est maintenu dans l'eau, et dans les mélanges 7 et 10 ; il est surtout en belle végétation dans le plâtre et le superphosphate.

Le pin maritime s'est maintenu dans l'eau, le chlorure de potassium, et dans les mélanges 7 et 10 ; il se trouve particulièrement bien du plâtre et du superphosphate.

Le pin sylvestre s'est maintenu dans le chlorure de potassium et dans les mélanges 7 et 10 ; il est surtout beau dans le plâtre et le superphosphate.

Le pin noir s'est maintenu dans le chlorure de potassium et le mélange 7 ; il est spécialement vivace dans le plâtre et le superphosphate.

Saule-Osier et Laurier-Rose

Salix viminalis

Nerium oleander

BOUTURAGES

1^e Expérience du 9 juillet 1906.

Cette expérience a porté sur les bouturages de saule-osier et de laurier-rose.

On met les boutures dans des vases en verre contenant

1/2 litre d'eau distillée, et dans ces vases on introduit respectivement 1 gramme des diverses substances à expérimenter. Deux vases contenant seulement de l'eau distillée, servent de témoins.

- Les N^{os} 1 et 1' ont l'eau distillée pure ;
— 2 et 2' — le superphosphate ;
— 3 et 3' — le nitrate de soude ;
— 4 et 4' — le chlorure de potassium ;
— 5 et 5' — le sulfate de chaux ;
— 6 et 6' — le sulfate de fer ;
— 7 et 7' — le sulfate de magnésie ;
— 8 et 8' — les cendres de bois.

Les vases 1 à 8 reçoivent les lauriers ; les vases 1' à 8' les osiers.

Le 3 août 1906, les lauriers-roses ont déjà des racines dans la solution de plâtre et de nitrate de soude, ainsi que dans l'eau distillée ; les saules-osiers ont des racines dans l'eau distillée et dans les solutions de plâtre, nitrate de soude superphosphate, chlorure de potassium ; mais les racines qui se sont développées dans *le plâtre* sont remarquablement plus longues et plus ramifiées que dans toutes les autres solutions.

Au 29 août 1906, les racines sont toujours courtes dans l'eau distillée, le superphosphate et le nitrate de soude, alors qu'elles se développent de plus en plus dans le plâtre.

De même, à cette date, les quelques racines d'osier produites dans l'eau distillée, le superphosphate, le nitrate de soude, le chlorure de potassium, sont peu allongées, tandis qu'elles sont superbes dans le plâtre.

Les boutures sont vivantes mais sans racines dans le sul-

fate de magnésie; elles sont mortes dans le sulfate de fer et la solution de cendres.

Au 24 septembre 1906, on voit toujours :

Sur le laurier-rose :

Dans l'eau distillée, le superphosphate, le nitrate de soude, des racines courtes ;

Dans le plâtre un développement prodigieux de racines.

Sur le saule-osier :

Des racines courtes également dans l'eau distillée, le superphosphate, le nitrate de soude et surtout le chlorure de potassium, des racines beaucoup plus longues dans le sulfate de chaux.

Sur le saule-osier, seul le plâtre a fourni de jeunes feuilles vertes.

L'année suivante, au 3 mai 1907, les boutures de lauriers-roses de l'eau distillée, du superphosphate, du nitrate de soude, possèdent un enracinement restreint ; seule la bouture du plâtre a encore augmenté son enracinement dans des proportions considérables.

Les autres boutures sont mortes.

Au 30 mai 1907, la pourriture atteint toutes les boutures *sauf celle du sulfate de chaux*.

Cette bouture de laurier-rose développée dans le plâtre est encore parfaitement vivante au 10 novembre 1908, avec une quantité considérable de racines, et *sans aucune trace de pourriture*.

Donc, non seulement le sulfate de chaux a favorisé *la production d'un enracinement colossal*, mais il a encore préservé la bouture de la pourriture, et joué, sous ce rapport, un rôle en quelque sorte *antiseptique*.



Fig. 16. — Bouture de laurier-rose.

Action du sulfate de chaux en eau distillée.
Expérience du 9 juillet 1906 au 31 mai 1907.

2° *Expérience du 24 mai 1907.*

Nous avons expérimenté de nouveau le bouturage du saule-osier et du laurier-rose.

I. — LAURIER-ROSE

Première série de solutions :

Superphosphate	2 gr. par litre.
Nitrate de soude	—
Chlorure de potassium. .	—
Sulfate de potasse. . . .	—
Sulfate de chaux	—
Sulfate de magnésie. . .	—
Chaux.	—
Phosphate tricalcique . .	—
Sulfate de fer.	0 gr. 50 par litre
Eau distillée pure. . . .	

Deuxième série de solutions :

Superphosphate	0 gr. 50 par litre.
Nitrate de soude	—
Chlorure de potassium . .	—
Sulfate de potasse	—
Sulfate de chaux	—
Sulfate de magnésie . . .	—
Chaux	—
Phosphate tricalcique . .	—
Sulfate de fer.	traces
Sulfate d'ammoniaque . .	0 gr. 50 par litre

II. — SAULE-OSIER

Même dispositif : 0 gr. 50 et 2 grammes par litre des mêmes substances, sauf pour le sulfate de fer dont on n'introduit que des traces.

Examen au 26 juin 1907 :

L'eau distillée commence à produire des racines sur la bouture de laurier-rose ; la bouture d'osier en possède d'une longueur de 3 centimètres.

Il en est de même du superphosphate et du phosphate tricalcique.

Les boutures du sulfate de chaux sont déjà très longues dans la solution à 2 grammes par litre, un peu moins longues dans la solution à 0 gr. 50 par litre.

Dans le nitrate de soude, le laurier-rose n'a aucune racine, l'osier est mort.

Dans le chlorure de potassium, la solution à 2 grammes n'a produit aucune racine pour le laurier-rose, et la solution à 0 gr. 50 n'a donné qu'une tentative de sortie de racines ; l'osier est mort dans les deux solutions.

La bouture de laurier-rose a de petites racines seulement dans la solution à 0 gr. 50 de sulfate de potasse ; il en est de même de celle d'osier.

Le sulfate de magnésie n'a rien donné nulle part.

La chaux a fourni de très belles racines dans la solution à 2 grammes et de moins allongées dans la solution à 0 gr. 50, pour le laurier-rose et le saule-osier.

Le sulfate de fer a détruit toutes les boutures.

Il en est de même du sulfate d'ammoniaque.

Examen au 7 octobre 1907 :

L'eau distillée, le sulfate de potasse, le chlorure de potassium n'ont fourni que des racines insignifiantes.

La chaux et le phosphate tricalcique ont donné de belles racines.

SO⁴Ca

Sp

Kcl

H²O

Fig. 17. — Boutures de Laurier-rose, en eau distillée.

Action comparée du superphosphate, du chlorure et de l'eau.
 du sulfate de calcium, de potassium
 (SO⁴Ca) (Sp) (Kcl) (H²O)

Expérience du 24 mai 1907 au 7 octobre 1907.

Le superphosphate a produit des racines allant jusqu'à 9 centimètres.

Le sulfate de chaux a donné le plus long enracinement ; les racines ont une longueur de 15 centimètres.

3° Expérience du 9 août 1907.

Cette expérience est une confirmation de celles du 9 juillet 1906 et du 24 mai 1907. Elle concerne le bouturage du laurier-rose.

Nous plaçons les boutures dans des solutions à 2 grammes par litre, et les vases sont numérotés ainsi :

- N° 1. Eau distillée pure ;
- 2. Sulfate de chaux ;
- 3. Carbonate de chaux ;
- 4. Chaux ;
- 5. Superphosphate de chaux ;
- 6. Nitrate de soude ;
- 7. Chlorure de potassium ;
- 8. Sulfate de magnésie ;
- 9. Sulfate de potasse ;
- 10. Phosphate tricalcique de chaux ;
- 11. Scories + nitrate de potasse + chaux (par tiers).

L'examen, au 7 octobre 1907, donne des résultats sensiblement identiques à ceux des expériences précédentes :

Le sulfate de chaux a fourni un enracinement superbe (0 m. 15 de long.) ;

La chaux des racines moins longues (0 m. 08 long.) ;

Le sulfate de potasse quelques racines courtes (0 m. 02 long.) ;

L'eau distillée une boule de radicules extrêmement petites.

On voit :

Dans le carbonate de chaux des racines presque aussi longues que dans le sulfate ;

Dans le superphosphate et le phosphate tricalcique d'assez longues racines ;


 SO^4Ca
 CaO
 SO^4K^2
 H^2O

Fig. 18. — Boutures de Laurier-rose, en eau distillée.

Action comparée

du sulfate de calcium, de la chaux, du sulfate de potasse, de l'eau.

 (SO^4Ca)
 (CaO)
 (SO^4K^2)
 (H^2O)

Expérience du 9 août 1907 au 7 octobre 1907.

Dans le chlorure de potassium, le sulfate de potasse, le nitrate de soude, le sulfate de magnésie, une boule de radicules avortées ;

Dans le mélange n° 11 d'assez nombreuses racines, bien

groupées, mais petites et évidemment ralenties par le sel de potassium qui fait partie de la solution.

4^e Expérience du 10 août 1907.

Cette expérience vient à l'appui de celle du 9 juillet 1906 : elle concerne le bouturage d'une des essences ligneuses dont la culture bien comprise est des plus rémunératrices, le saule-osier.

Ces boutures sont mises dans des éprouvettes de 1/2 litre contenant de l'eau distillée avec des solutions à 2 grammes par litre des engrais minéraux, et ainsi numérotées :

- N^o 1. Eau distillée pure ;
- 2. Sulfate de chaux ;
- 3. Carbonate de chaux ;
- 4. Chaux ;
- 5. Superphosphate ;
- 6. Nitrate de soude ;
- 7. Chlorure de potassium ;
- 8. Sulfate de magnésie ;
- 9. Sulfate de potasse ;
- 10. Scories + nitrate de potasse + chaux (par tiers).

Les résultats sont constatés au 15 septembre 1907 : seuls, le sulfate de chaux, le carbonate de chaux, le superphosphate, l'eau distillée pure ont produit des racines sur les boutures.

Le plâtre a donné des racines superbes de 0 m. 10 de longueur ; il en a été de même du carbonate de chaux ; le superphosphate, accidentellement envahi par la pourriture, a fait

développer des racines de 0 m. 02 seulement ; les racines poussant dans l'eau distillée n'avaient que 0 m. 01 de longueur.

Dans toutes les autres solutions, il n'y avait aucune racine sur les boutures.

5° *Expérience du 20 mai 1908.*

Eau distillée dans le vide à 30°.

C'est une expérience de vérification, effectuée à l'aide d'eau distillée dans le vide à 30°, sur des boutures de l'année mises dans des éprouvettes de 125 centimètres cubes, contenant :

La première, l'eau distillée pure ;

La deuxième, la solution de sulfate de calcium à 2 0/00 ;

La troisième, la solution de sulfate de potassium à 2 0/00.

Comme dans les expériences précédentes, le sel potassique donne des racines rudimentaires ; le sulfate de calcium fournit les racines les plus longues ; l'eau distillée pure présente un enracinement de moitié moins allongé que le sulfate de calcium.

L'expérience, faite en double, est arrêtée au 26 juillet 1908.

On a noté, dans le cours de la végétation, une transpiration beaucoup plus considérable dans la solution calcique que dans les autres.

6° *Expérience du 22 mai 1908.*

Boutures de rameaux âgés de deux ans.

Les boutures mises en expérience ne sont pas, comme de coutume, de l'année courante ; elles sont *de l'année précédente*.

Elles sont constituées par deux entre-nœuds, l'un qu'on prive de ses feuilles et qui est plongé dans la solution, l'autre auquel on laisse son verticille de trois feuilles, et qui est au-dessus de la solution.

Les solutions sont celles des engrais composés, que nous avons précédemment indiqués *pour le chêne (expérience du 22 mai 1908)*. Elles sont ainsi numérotées :

- N° 0. Eau distillée pure ;
- 1. Engrais complet ;
- 2. Engrais sans azote ;
- 3. Engrais sans phosphore ;
- 4. Engrais sans potassium ;
- 5. Engrais sans calcium.

Au 4 novembre 1908, les résultats sont les suivants :

L'eau distillée a donné un enracinement et trois pousses rudimentaires.

L'engrais complet a fourni un *enracinement considérable*, et a développé ses trois bourgeons dans des proportions remarquables. Il en a été de même dans les engrais sans azote, sans phosphore, sans potassium, avec de faibles variantes.

Dans l'engrais sans calcium, la bouture a péri dès le mois de juillet.

Ce fait démontre l'importance du *stimulant calcique* dans la végétation, et son rôle de défense en quelque sorte, quand la cellule végétale est mise en présence de corps par eux-mêmes toxiques.

Dans l'eau distillée, le végétal ne meurt pas ; mais il ne forme que des rudiments de racines et de pousses aériennes ; il se met, pour ainsi dire, *en état de vie ralentie*.

Nous avons constaté comme poids sec des boutures :



A

B

Fig. 19. — Laurier-rose.

Boutures prises sur des rameaux de 2 ans.

Expérience du 22 mai au 4 novembre 1908.

A. — Bouture dans la solution d'engrais complet.

B. — Bouture en eau distillée pure.

Au 22 mai, avant l'expérience : 7 grammes.

Au 4 novembre, le poids des boutures est :

en eau distillée : 9 grammes.

en engrais complet : 18 grammes.

Telle est la mesure de l'action des engrais composés, dans des formules où les sels de calcium indiqués sont en proportion prépondérante.

7° Expérience du 22 juillet 1908.

Eau distillée dans le vide à 30°.

LAURIER-ROSE

Cette expérience de contrôle fait suite à celle du 20 mai 1908 ; elle a pour but d'examiner le mode de végétation de la bouture à une époque plus avancée en saison ; elle comprend les trois mêmes solutions :

N° 1. Eau distillée dans le vide ;

— 2. Solution de sulfate de calcium à 2 0/00 ;

— 3. Solution de sulfate de potassium à 2 0/00.

Au 13 août, le sulfate de calcium a donné des racines de 40 millimètres de longueur ;

Le sulfate de potassium a fourni des racines de 1 millimètre ;

L'eau distillée pure n'en présente aucune ; la bouture ayant sa base pourrie est remplacée.

Au 10 septembre, les racines ont :

Dans le sulfate de calcium : 100 millimètres.

Dans le sulfate de potassium : 5 millimètres.

La bouture de l'eau distillée pure est dépourvue de racines.

8° Expérience du 10 septembre 1908.

Eau distillée dans le vide à 30°.

LAURIER-ROSE

Le but et les dispositifs de l'expérience sont les mêmes que précédemment. Les résultats, au 14 octobre, sont les suivants :

Le sulfate de calcium a présenté des racines de 70 millimètres de longueur ;

Le sulfate de potassium n'a donné que des rudiments de racines (1 mm.) ;

L'eau distillée pure a fourni des racines courtes, dont la plus allongée a 30 millimètres.

9° Expérience du 11 août 1908.

Eau distillée dans le vide à 30°.

SAULE-OSIER

Cette expérience de contrôle, identique aux deux précédentes, porte sur le saule-osier.

Au 16 octobre, on voit :

Dans le sulfate de calcium, des racines de 50 millimètres ;

Dans l'eau distillée à 30° dans le vide, des racines de 30 millimètres ;

Dans le sulfate de potassium, des traces de racines (1 mm.).

Nous observons que les algues ont envahi l'eau distillée et la solution de sulfate de potassium, alors que la solution de sulfate de calcium est intacte.

Vigne

Vitis vinifera

BOUTURAGES

Expérience du 1^{er} septembre 1908.

Eau distillée à 30° dans le vide.

Il est intéressant, au point de vue pratique, d'examiner la différence d'action des composés calciques et potassiques, et de l'eau distillée, sur la rapidité de débouillage de la vigne.

Nous avons choisi des boutures de vigne, comprenant deux entre-nœuds, l'un plongé dans la solution, l'autre au-dessus ; les boutures, prises dans les mêmes conditions, avaient un poids de 2 grammes, sensiblement le même pour toutes.

Les solutions à 2 0/00 étaient les suivantes :

Sulfate de calcium ;

Sulfate de potassium ;

Eau distillée à 30° dans le vide.

Au 14 octobre, on constate que le sulfate de calcium a fait débouiller le premier, et a fourni déjà une feuille bien développée ; l'eau distillée a fait débouiller à peine, sans avoir encore constitué aucune feuille ; le sulfate de potassium a tué la bouture.

Expériences de Comparaison.**Tradescantia***BOUTURAGES***1° Expérience du 30 mai 1907.**

Bien que le tradescantia ne soit pas une espèce ligneuse, nous l'avons mis en expérience de bouturage, en raison de la grande facilité avec laquelle il donne des boutures dans le milieu aqueux, et à titre de comparaison.

Dans des éprouvettes de 250 centimètres cubes nous avons versé des solutions à 2 grammes de sels par litre, sauf pour le sulfate de fer dont la solution ne contient que des traces.

Les éprouvettes ont été numérotées ainsi :

- N° 1. Eau distillée ;
- 2. Superphosphate ;
- 3. Sulfate de chaux ;
- 4. Chlorure de potassium ;
- 5. Nitrate de soude ;
- 6. Sulfate d'ammoniaque ;
- 7. Sulfate de magnésie ;
- 8. Sulfate de potasse ;
- 9. Chaux ;
- 10. Sulfate de fer (traces).

Examen au 25 juin 1907 :

Les racines sont :

Insignifiantes dans l'eau distillée	(0 ^m 001)
Très longues dans le superphosphate	(0 ^m 100)
Très longues dans le sulfate de chaux	(0 ^m 106)
Très courtes dans le chlorure de potassium.	(0 ^m 010)

Insignifiantes dans le nitrate de soude. (0^m001)

Nulles dans le sulfate d'ammoniaque.

Courtes dans le sulfate de magnésie (0^m030)

Encore plus courtes dans le sulfate de potasse. . . (0^m030)

Longues dans la chaux. (0^m080)

Nulles dans le sulfate de fer, où toutes les feuilles ont pris une teinte noire, due à l'action du fer sur les chloroleucites.

Au 2 août 1907, la situation est la même: *le sulfate de chaux a donné les racines les plus longues.*

2° Expérience du 11 août 1907.

Cet essai est analogue à celui du 30 mai 1907; il vient, d'ailleurs, en confirmer les résultats; il porte sur des boutures de tradescantia mises dans des éprouvettes de 250 centimètres cubes, dans lesquelles on a versé des solutions à 2 grammes d'engrais minéraux par litre.

- N° 1. Eau distillée;
- 2. Sulfate de chaux;
- 3. Carbonate de chaux;
- 4. Chaux;
- 5. Superphosphate;
- 6. Nitrate de soude;
- 7. Chlorure de potassium;
- 8. Sulfate de magnésie;
- 9. Sulfate de potasse;
- 10. Scories + Nitrate de potasse + chaux (par tiers).

Dès le 29 août 1907, les résultats sont les suivants:

Les racines ont une longueur de:

0^m130 dans le sulfate de chaux ;
 0^m120 dans le carbonate de chaux ;
 0^m070 dans le superphosphate ;
 0^m030 dans le sulfate de magnésie ;
 0^m015 dans le sulfate de potasse ;
 0^m010 dans le chlorure de potassium ;
 0^m001 dans le nitrate de soude, l'eau distillée, la chaux,
 le mélange n° 10.

Le superphosphate, le carbonate et surtout le sulfate de calcium donnent donc un enracinement superbe.

3° *Expérience du 24 juillet 1908.*

Eau distillée dans le vide à 30°.

C'est une expérience de contrôle qui comprend les solutions suivantes en flacons de 125 centimètres cubes :

- N° 1. Sulfate de calcium ;
- 2. Sulfate de potassium ;
- 3. Eau distillée à 30° dans le vide.

Les boutures, retirées au 3 août, ont donné comme longueur des racines :

Dans le sulfate de calcium	6 centimètres.
Dans le sulfate de potassium	1 —
Dans l'eau distillée dans le vide . . .	3 —

4° *Expérience du 10 août 1908.*

Eau distillée dans le vide à 30°.

C'est la répétition de l'expérience précédente, avec les mêmes solutions.

Au 19 août, le sulfate de calcium a donné des racines de 5 cm.		
le sulfate de potassium	—	0 cm. 9
l'eau distillée dans le vide	—	1 cm. 4

On voit que les expériences faites avec l'eau distillée à 30° dans le vide fournissent, dans cette eau, un enracinement plus allongé que dans l'eau distillée du commerce; mais, cette remarque faite, les conclusions qu'on peut déduire des expériences précédentes, relativement à l'action des divers engrais, subsistent entières.

Expériences relatives à l'influence des densités des liquides de culture.

Ce sont des expériences qui concernent le tonisme des cellules végétales ligneuses.

Des solutions nutritives ont été préparées avec l'eau distillée, la glycérine et les engrais minéraux divers, de manière à obtenir des densités variant de 1000 à 1050.

Tous les végétaux ligneux périssaient dès que la densité du liquide de culture atteignait 1005; il y avait *plasmolyse*.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS EN EAU DISTILLÉE

1° *Plants feuillus*. — Les composés du calcium, le sulfate de calcium principalement, le superphosphate de chaux, le carbonate de calcium, ont une action remarquable sur la végétation des jeunes plants, et sur l'évolution des rejets.

L'oxyde de calcium, la chaux, favorise également la production des rejets, mais en donnant des feuilles de dimensions généralement inférieures à la normale.

Le sulfate de calcium n'est jamais nuisible, quelle que soit sa proportion dans l'eau.

Les sels de potassium, de sodium, de fer, d'ammonium, de magnésium, de manganèse sont défavorables aux doses employées.

2° *Plants résineux*. — C'est le superphosphate de chaux qui donne les résultats les meilleurs sur le sapin pectiné. Sur cette même essence, le calcium sous forme d'oxyde (chaux) a une influence nuisible.

Le sulfate de calcium possède sur tous les résineux la même action remarquablement stimulante observée sur les feuillus.

Le carbonate de calcium possède une action favorable notamment sur les pins des diverses espèces.

Le potassium, sous la forme de chlorure, n'a pas une action aussi immédiatement nuisible que chez les feuillus.

Les autres corps sont indifférents ou toxiques.

3° *Bouturages*. — Dans les bouturages de saule-osier et de laurier-rose en eau distillée, c'est le sulfate de calcium qui possède la plus puissante action dans la production et le développement des racines.

Après lui viennent les autres sels de calcium, et principalement le superphosphate.

Les sels de potassium sont particulièrement toxiques ; le sulfate de potassium l'est à un moindre degré.

En résumé, de ces expériences en milieu aqueux il résulte, d'une manière évidente, que le sulfate et le superphosphate de calcium peuvent être considérés comme les engrais minéraux les meilleurs pour tous les végétaux ligneux.

VII. — EXPÉRIENCES EN SOL ARTIFICIEL

Il n'est pas possible d'obtenir un sol artificiel chimiquement dépourvu de toute substance soluble.

Wiegmann et Polstorf ont démontré que les plantes cultivées dans le sable pur, calciné, traité par l'eau régale et lavé, donnaient, après incinération, un poids de cendres plus grand que celui des graines dont elles proviennent.

Ces substances minérales ne peuvent venir que du sable ; et, en effet, l'analyse du sable purifié aurait fourni les chiffres suivants, d'après ces deux auteurs :

Silice	97.900
Potasse	0.320
Chaux.	0.484
Magnésie.	0.009
Alumine	0.876
Oxyde de fer	0.315

Mais on voit que les chiffres autres que celui de la silice sont extrêmement réduits ; les résultats de nos cultures en sable fin de la Loire, provenant de la décomposition des granites, seront donc suffisamment rapprochés de la vérité pour que la valeur de nos conclusions ne soit pas diminuée.

Quand, de plus, nous observerons la concordance com-

plète entre les effets obtenus dans ces sols artificiels et ceux qui sont donnés par les cultures en eau distillée, nous aurons la certitude scientifique de la réalité des résultats observés.

Nous avons effectué, en sol artificiel, des expériences de *semis*, de *repiquages* et de *bouturages*.

1° SEMIS

Chêne pédonculé

Quercus pedunculata

Expérience du 12 mars 1906.

Nous avons expérimenté les divers engrais organiques et minéraux à la dose massive, tout d'abord, de 5.000 kilos à l'hectare. Cet essai a eu lieu dans des pots remplis de sable de Loire auquel on a mélangé les engrais, en les numérotant ainsi :

- N° 1. Sulfate de manganèse ;
- 2. Scories Thomas ;
- 3. Sulfate de potasse ;
- 4. Chlorure de potassium ;
- 5. Sulfate de calcium ;
- 6. Sulfate de fer ;
- 7. Sulfate d'ammoniaque ;
- 8. Nitrate de sodium ;
- 9. Kaïnite ;
- 10. Superphosphate ;
- 11. Chaux ;
- 12. Sang desséché ;

- N° 13. Cendres de bois ;
 — 14. Fumier de cheval ;
 — 15. Témoin.

Dans chaque pot on sème les glands de chêne en lignes équidistantes, et on les recouvre de 1 centimètre de sable environ.

On constate que le chêne a bien levé dans le sulfate de calcium, la chaux, les scories, le fumier, le témoin ; la végétation a été bonne avec les quatre premiers corps principalement ; la levée a été plus tardive mais la végétation non moins forte dans le superphosphate. Les autres corps n'ont pas fourni de résultats favorables.

Nous avons arrosé à l'eau distillée, afin d'éviter tout apport de corps étranger.

Chêne pédonculé, Hêtre, Sapin, Pin sylvestre, P. noir

Quercus pedunculata

*Fagus
sylvatica*

*Abies
pectinata*

Pinus sylvestris

P. austriaca

Expérience du 15 mai 1906.

Nous remplissons avec 10 kilogrammes de sable fin de Loire dix grands pots, et nous mélangeons intimement au sable 0 kgr. 250 des diverses substances à expérimenter :

- N° 1. Témoin ;
 — 2. Chaux ;
 — 3. Sulfate de fer ;
 — 4. Sulfate de chaux ;
 — 5. Superphosphate ;
 — 6. Chlorure de potassium ;

- N° 7. Sulfate de potasse ;
— 8. Nitrate de soude ;
— 9. Sulfate d'ammoniaque ;
— 10. Scories Thomas.

Les pots sont exposés à l'air, et on arrose à l'eau distillée. Chaque pot a reçu un rang de graines de chacune des essences suivantes :

Pin sylvestre, pin noir d'Autriche ;
Sapin pectiné ;
Chêne pédonculé ;
Hêtre.

Au 5 juin 1906, nous voyons sur :

Le sable témoin : Les pins sylvestres et noirs levés ;

Le sulfate de chaux : Les pins sylvestres et noirs et les sapins levés ;

La chaux : Les pins sylvestres et noirs et les sapins levés ;

Le superphosphate : Les pins sylvestres et noirs levés ;

Les scories : Les pins et les sapins commençant à lever ;

Le sulfate de fer : Les pins et sapins levés mais morts.

Aucune graine n'a levé dans le chlorure de potassium, le sulfate de potasse, le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque.

Au 17 juillet 1906, les chênes et les hêtres ont levé, et tout est en bon état de végétation dans :

Le sulfate de chaux ;
La chaux ;
Le superphosphate ;
Les scories.

La végétation est languissante dans *le sable témoin*.

Tout est dépérissant ou mort dans :

Le chlorure de potassium ;

Le sulfate de potasse ;

Le nitrate de soude ;

Le sulfate d'ammoniaque ;

Le sulfate de fer.

Dans les examens successifs, la même situation de végétation existe.

Au 5 novembre 1906, les résultats sont encore de même nature :

Excellent état des semis dans le sulfate de chaux;

Bon état dans la chaux;

Assez bon état dans le superphosphate et les scories;

État languissant dans le sable témoin;

Végétation nulle dans le sulfate d'ammoniaque, le nitrate de soude, le sulfate de potasse, le chlorure de potassium, le sulfate de fer.

Chêne pédonculé, Hêtre, Sapin, Pin Sylvestre, P. noir

Quercus pedunculata

Fagus
sylvatica

Abies
pectina

Pinus sylvestris

P. austriaca

Expérience du 16 mai 1906

Cette expérience est disposée comme nous l'avons indiqué plus haut dans nos considérations générales.

Dix pots contenant 10 kilogrammes chacun de sable fin de Loire sont placés dans des cuvettes où l'on verse les solutions à 2 grammes par litre d'eau distillée. Ces solutions pénètrent dans les pots par leurs trous inférieurs, et arrivent par capillarité aux cellules absorbantes de la plante.

Les pots sont ainsi numérotés :

- N° 1. Témoin;
- 2. Sulfate de fer;
- 3. Sulfate de chaux;
- 4. Superphosphate;
- 5. Sulfate de potasse;
- 6. Chlorure de potassium;
- 7. Nitrate de soude;
- 8. Sulfate d'ammoniaque;
- 9. Chaux;
- 10. Scories.

On sème en lignes dans chaque pot, le 14 mai, le chêne pédonculé, le hêtre, le sapin pectiné, les pins noir d'Autriche et sylvestre.

Au 31 mai, le pin noir a seul levé dans le sulfate de chaux et le superphosphate.

Au 2 août 1906, la situation des végétaux est la suivante :

Toutes les essences ont levé et sont en bon état de végétation dans les pots qui reçoivent le sulfate de chaux, le superphosphate, la chaux et les scories.

La végétation est languissante dans le témoin.

Tous les jeunes semis sont morts ou dépérissants par le fait des solutions de sulfate de fer, de sulfate de potasse, de nitrate de soude, de sulfate d'ammoniaque.

Chêne pédonculé, Pin maritime, P. sylvestre, P. noir

Quercus pedunculata

Pinus maritima

P. sylvestris

P. austriaca

Expérience du 8 mai 1907

Cette expérience a été effectuée conformément à la technique des cultures en places d'essais dans les sols artificiels, technique spécifiée dans notre description générale des dispositifs expérimentaux.

Sur un terrain, qui n'a jamais été fumé, nous avons tracé, à 1 mètre les uns des autres, treize carrés de 1 mètre carré chacun; nous avons enlevé le mètre cube de terrain naturel correspondant à chacun de ces carrés, et nous l'avons remplacé par du sable fin de Loire, purifié préalablement.

Nous avons ainsi autant de caisses de 1 mètre cube, distantes de 1 mètre, remplies de sable, et dont la surface supérieure affleurerait au niveau du sol naturel.

Ces caisses n'étaient évidemment pas étanches; mais elles ne pouvaient recevoir les solutions de la terre naturelle que par capillarité, et les microorganismes que par voisinage.

L'expérience permettait donc de rechercher des notions sinon mathématiques, au moins suffisamment précises sur la valeur des divers corps en expérience.

Chaque carré reçoit 250 grammes d'engrais, soit 2.500 kilogrammes à l'hectare; les carrés sont ainsi numérotés :

- N° 1. Témoin;
- 2. Kaïnite;
- 3. Sulfate de potasse;
- 4. Chlorure de potassium;
- 5. Nitrate de potasse;

- N° 6. Chaux ;
— 7. Sulfate de chaux ;
— 8. Superphosphate ;
— 9. Sulfate de fer ;
— 10. Cendres de bois ;
— 11. Scories ;
— 12. Sulfate d'ammoniaque ;
— 13. Nitrate de soude.

Dans chaque carré, nous semons, en lignes équidistantes, les essences suivantes :

Chêne pédonculé ;
Pin maritime ;
Pin sylvestre ;
Pin noir d'Autriche.

L'examen au 15 septembre 1907 donne les résultats suivants :

La végétation est très belle dans le sulfate de chaux pour toutes les essences.

Dans le superphosphate et les scories, les chênes et les pins maritimes sont très beaux ; les pins sylvestre et noir sont en assez bon état.

Dans la chaux, les chênes sont en très belle végétation ; il en est de même pour les pins maritimes ; le pin maritime, que l'on classe ordinairement comme essentiellement *calcifuge*, est très bien venant dans ce milieu calcarisé artificiellement ; les pins noir et sylvestre sont en assez bon état.

Le nitrate de potasse et le chlorure de potassium ont détruit toute végétation ; de même la kaïnite.

Il en est de même dans le sulfate d'ammoniaque, où il n'y a pas eu de germinations, et dans le sulfate de fer.

Le nitrate de soude a tué toutes les essences, sauf quelques chênes, dont les feuilles d'ailleurs commencent à jaunir, et qui se sont maintenus jusqu'à ce moment grâce à leurs réserves cotylédonaire.

Toute la végétation est rabougrie dans le carré des cendres de bois.

Le sulfate de potasse a fait périr les pins sylvestre et noir ; mais il a laissé vivre les chênes et a simplement *ralenti la croissance* des pins maritimes.

Dans le carré témoin, formé de silice à peu près pure, le pin maritime, classé cependant comme essence *silicicole*, a une végétation languissante, qui n'est pas comparable à la belle végétation obtenue dans le carré saturé de chaux ; les pins noir et sylvestre sont en état médiocre ; les chênes sont en assez bonne situation, grâce aux réserves contenues dans leurs cotylédons.

Au 20 novembre 1907 :

Le sulfate de chaux a continué son action si *favorable à toutes les essences*.

Dans le superphosphate et les scories la situation est également très belle.

Il en est de même dans la chaux.

Dans le nitrate de potasse, le chlorure de potassium et la kaïnite, tout est mort, sauf quelques chênes ; il en est de même dans le sulfate d'ammoniaque, le sulfate de fer, et le nitrate de soude.

Les cendres de bois ont produit une végétation médiocre pour toutes les essences, sauf pour les pins noirs qui se trouvent en assez bon état.

Le sulfate de potasse ne laisse plus vivre que quelques pins maritimes ; mais on y voit quelques chênes en assez bon état.

Dans le carré témoin, les essences continuent à vivre ; mais elles sont, notamment le pin maritime, beaucoup moins



Chaux

Témoin

Fig. 20. — Pins maritimes, semis sur sable de Loire (mai 1907).

Deux groupes, l'un en sable additionné de chaux, l'autre en sable témoin.

Expérience du 8 mai 1907 au 7 octobre 1907.

belles que dans le sulfate de chaux, le superphosphate, les scories ou la chaux.

Le poids sec moyen d'un plant de semis de pin maritime est :

- 1 gr. 60 dans le sulfate de calcium ;
- 0 gr. 80 dans la silice pure ;
- 0 gr. 70 dans le sulfate de potasse.

Les carrés de l'expérience du 8 mai 1907 subsistent en 1908, avec leurs essences laissées sur place.

A la fin de la période de végétation, le 24 octobre 1908, les résultats acquis précédemment se confirment, et se résument ainsi :

Excellents effets du sulfate et du superphosphate de chaux des scories, de la chaux.

Végétation un peu relevée dans les carrés contenant le sulfate de fer, les cendres de bois, le sulfate de potasse (toujours moins dangereux que le chlorure de potassium).

Végétation languissante dans le carré témoin.

Continuation des effets toxiques avec le chlorure de potassium, la kaïnite, le nitrate de potasse, le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque.

Les différences de végétation sont surtout remarquables chez le pin maritime ; ainsi nous trouvons, au 4 novembre 1908, en moyenne :

Poids sec d'un pin maritime dans le carré témoin.	4 grammes.
— le superphosphate	8 grammes.
Hauteur de la tige dans le carré témoin . . .	12 centimètres.
— le superphosphate. . .	24 centimètres.
Diamètre à la base dans le carré témoin. . . .	2 millimètres.
— le superphosphate. . .	4 millimètres.
Nombre de feuilles définitives sur un pin maritime du témoin	16 paires.
Nombre de feuilles définitives sur un pin maritime du superphosphate	33 paires.

La puissance végétative est en quelque sorte doublée par l'action du superphosphate et du sulfate de calcium sur le pin maritime.



A

B

Fig. 21. — Pins maritimes,

Semis sur sable de Loire au 8 mai 1907, photographiés le 10 novembre 1908.

Expérience du 8 mai 1907 au 10 novembre 1908.

A. — Un groupe de 3 pins du carré de superphosphate de chaux.

B. — Un groupe de 3 pins du carré témoin.

Expérience de comparaison.**Chanvre commun***Cannabis sativa**Expérience du 2 mars 1905.*

Cette expérience a été disposée par M. Roux, du Museum, qui a bien voulu nous donner les plants obtenus.

Elle porte sur le chanvre, qui n'est pas, à vrai dire, une essence ligneuse, mais qui peut être considérée comme une plante intéressante de comparaison.

Le dispositif est celui que nous avons précédemment indiqué :

Pots en biscuit de Sèvres, lavés aux acides, calcinés, garnis au fond de briquettes, troués et fendus à la partie inférieure, remplis de 1 kilogramme de sable blanc de Fontainebleau.

Cuvettes recevant ces pots et contenant 1 litre d'eau distillée, à laquelle on ajoute les divers engrais.

Couvercles annulaires en zinc pour préserver les cuvettes des germes et poussières atmosphériques.

Les semis sont effectués le 2 mars 1905 à raison de 9 graines de chanvre par pot.

Le 16 mars on a éclairci en ne laissant que cinq pieds de chanvre.

Le 4 mars ont été mis les engrais.

Le pot N° 0 sert de témoin ; la cuvette qui le contient ne reçoit que de l'eau distillée.

Le pot N° 1 reçoit l'engrais complet :

	gr.
$\text{PO}^4\text{H}^3\text{K}$	0,3
NaCl	0,1
$\text{SO}^4\text{Mg.}$	0,1
$\text{SO}^4\text{Ca.}$	1,0
$\text{CO}^3\text{Ca.}$	1,0
AzO^3Na	1,0

Le pot N° 2 reçoit l'engrais sans azote :

	gr.
$\text{PO}^4\text{H}^3\text{K}$	0,3
NaCl	0,1
$\text{SO}^4\text{Mg.}$	0,1
$\text{SO}^4\text{Ca.}$	1,0
$\text{CO}^3\text{Ca.}$	1,0

Le pot N° 3 reçoit l'engrais sans phosphore :

	gr.
NaCl	0,1
$\text{SO}^4\text{Mg.}$	0,1
$\text{SO}^4\text{Ca.}$	1,0
$\text{CO}^3\text{Ca.}$	1,0
AzO^3Na	0,6
$\text{AzO}^3\text{K.}$	0,4

Le pot N° 4 reçoit l'engrais sans potasse :

	gr.
$\text{PO}^4\text{H}^3\text{Na.}$	0,3
NaCl	0,1
$\text{SO}^4\text{Mg.}$	0,1
$\text{SO}^4\text{Ca.}$	1,0
$\text{CO}^3\text{Ca.}$	1,0
AzO^3Na	1,0

Dans tous les pots sauf le N° 0 on a ajouté 8 gouttes de solution de sulfate de fer à 1 0 0, et 10 grammes de délayure de terre de jardin sous forme de liquide trouble, obtenu en laissant déposer la terre et décantant le liquide.

On a arrosé constamment à l'eau distillée.

Le 2 juin 1905 on a arraché dans chaque pot un pied de chanvre représentant exactement la moyenne du pot ; et ce sont ces pieds que nous avons examinés au double point de vue de leur morphologie externe et de leur anatomie.

Les principaux caractères morphologiques sont les suivants :

	N° 0 pas d'engrais	N° 1 engrais complet	N° 2 engrais sans Az.	N° 3 engrais sans P.	N° 4 engrais sans K.
Longueur de la tige. . . .	0 ^m 300	0 ^m 750	0 ^m 370	0 ^m 200	0 ^m 500
Diamètre mé- dian. . . .	0 ^m 0025	0 ^m 0045	0 ^m 0025	0 ^m 0025	0 ^m 0035
Feuilles . . .	0 ^m 0025	0 ^m 065	0 ^m 035	0 ^m 025	0 ^m 055
	sur 0 ^m 0012	sur 0 ^m 020	sur 0 ^m 015	sur 0 ^m 012	sur 0 ^m 020
Enracinement.	très faible	très beau	faible	très faible	beau

On remarquera les fortes doses de calcium employées par M. Roux dans ses liquides de culture.

On voit que les résultats classent :

En première ligne : l'engrais complet ;

En deuxième ligne : l'engrais sans potassium ;

En troisième ligne : l'engrais sans azote.

L'engrais sans phosphore et le témoin viennent en dernière ligne.

On peut conclure :

Que l'engrais N° 4 (engrais sans potassium) donne des résultats bien supérieurs aux engrais potassiques N° 2 et N° 3 ;

Que l'engrais N° 3 (engrais sans phosphore) fournit les résultats les plus mauvais ; et il paraît logique de les attribuer à la réunion du potassium et du sodium sous forme de nitrate de sodium et de nitrate de potassium.

On en déduit l'influence nuisible du sodium et du potassium, quand ces corps sont en quantité exagérée ; et cette conséquence est en accord complet avec nos expériences.

2° REPIQUAGES

Chêne pédonculé, Aune, Bouleau, Sapin, Pin laricio

Quercus pedunculata

*Alnus
glutinosa*

Betula alba

*Abies
pectinata*

Pinus laricio

Expérience du 19 mai 1906.

Les expériences précédentes avaient pour objet la recherche de l'action des engrais organiques et minéraux sur *les semis forestiers*. Celle-ci concerne l'influence de ces engrais sur *les repiquages*.

Des pots d'une contenance de 10 kilogrammes de sable reçoivent chacun 100 grammes de sulfate de chaux, ou de superphosphate, ou de scories, ou de nitrate de soude, ou de sulfate d'ammoniaque, ou de chlorure de potassium, ou de sulfate de potasse, ou de chaux, ou d'un mélange complexe comprenant la série de ces corps combinés deux à deux ou trois à trois, comme dans les cultures en eau distillée.

On y repique, en lignes, de jeunes semis (du printemps 1905) des essences suivantes :

Chêne pédonculé ;
Aune glutineux ;
Bouleau commun ;
Pin laricio ;
Sapin pectiné.

Au 5 juin 1906, restent seuls en bon état de végétation tous les jeunes plants repiqués dans le plâtre, le superphosphate, les scories.

Les essences du témoin ont repris et se maintiennent.

Les chênes de la chaux végètent bien ; mais les sapins pectinés y sont en mauvais état.

Tous les autres corps et mélanges ont une action défavorable.

Au 3 septembre 1906, la situation est toujours excellente dans le sulfate de chaux, le superphosphate, les scories ; elle reste la même pour la chaux, où un sapin est mort, et pour le témoin ; tous les jeunes plants sont morts dans le sulfate d'ammoniaque, le nitrate de soude, le chlorure de potassium, le sulfate de potasse, le sulfate de fer.

Chêne pédonculé, Bouleau commun

Quercus pedunculata

Betula alba

Expérience du 8 juin 1906.

Cette expérience porte sur *les repiquages* de jeunes chênes pédonculés et de bouleaux communs.

Dix pots contenant du sable fin de Loire reçoivent cha-

cun deux jeunes semis d'un an, l'un d'essence chêne, l'autre d'essence bouleau.

Ils sont arrosés avec des solutions à 1 gramme par litre des substances d'expérience :

Sulfate de chaux ;

Chaux ;

Superphosphate ;

Scories ;

Chlorure de potassium ;

Sulfate de potasse ;

Nitrate de soude ;

Sulfate d'ammoniaque ;

Sulfate de fer.

Les plants du dixième pot sont arrosés avec de l'eau distillée pure (témoin).

Les plants sont en excellent état avec le sulfate de chaux et le superphosphate ;

En bon état avec la chaux et les scories ;

En état languissant avec le témoin ;

En état de souffrance avec les sels de potasse ;

Morts avec le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque, le sulfate de fer.

Telle est la situation au 3 août 1906 ; elle se maintient la même au 5 novembre 1906.

3° BOUTURAGES

Saule-Osier

Salix viminalis.

1^o Expérience du 12 mars 1906.

Nous avons examiné l'action, à la dose de 2.500 kilos à l'hectare, des divers engrais organiques et minéraux sur les bouturages de saule-osier.

Des pots remplis de sable de Loire reçoivent d'abord les engrais, puis les boutures d'osier, que l'on arrose avec de l'eau distillée.

Ces boutures sont originaires du même pied, de mêmes dimensions, de mêmes poids, prises à la même hauteur, toutes circonstances aussi égales que possible.

Les engrais sont : *le fumier de cheval, les cendres de bois, le sang desséché, la chaux, le superphosphate, la kaïnite, le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque, le sulfate de fer, le sulfate de chaux, le chlorure de potassium, le sulfate de potasse, les scories Thomas, le sulfate de manganèse.*

Les boutures ont pris rapidement dans le sulfate de chaux, les scories, la chaux, le fumier, le sable témoin.

Elles ont surtout bien végété dans le sable contenant les quatre premiers corps : *sulfate de chaux, scories, chaux, fumier*, moins vigoureusement dans le superphosphate à cette dose massive.

Elles n'ont pas réussi dans les sels de potassium, de fer, de sodium, de manganèse, d'ammonium, ni dans le sang desséché, et les cendres de bois.

Saule-Osier

Salix viminalis.

2° Expérience du 10 septembre 1906.

De jeunes boutures d'osier sont mises dans des pots d'une contenance de 4 kilogrammes de sable fin, et on les arrose avec des solutions à 20/00 des engrais minéraux : *sulfate de chaux, chaux, superphosphate, nitrate de soude, chlorure de potassium, sulfate de magnésie, sulfate de fer.*

Le témoin est arrosé à l'eau distillée.

Les boutures ne réussissent qu'avec les solutions de *sulfate de chaux, chaux, superphosphate* ; elles ont maintenu leur végétation jusqu'au 30 juin 1907, époque où l'expérience a été arrêtée.

Ainsi, malgré l'époque déjà tardive, les trois corps indiqués : *sulfate de chaux, chaux* et *superphosphate de chaux*, ont eu la faculté de stimuler les tissus végétaux et de leur faire produire des enracinements.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS EN SOL ARTIFICIEL

Les expériences en sol artificiel confirment celles qui sont effectuées en eau distillée.

La levée des graines se fait très bien avec le sulfate de calcium, la chaux, les scories, le fumier, le témoin, parfois un peu retardée avec le superphosphate.

Les corps qui fournissent la végétation la plus belle sont : *le sulfate et le superphosphate de chaux, la chaux, les scories, le fumier à forte dose.*

Il est à remarquer que les résineux, même ceux qui sont classés comme *calcifuges*, par exemple le pin maritime, se trouvent très bien d'un sol artificiel *saturé de calcium* ; c'est ce que démontre notre expérience du 8 mai 1907. Mais lorsque le calcium est présenté à doses massives sous forme d'oxyde (chaux), il ne donne pas de bons résultats pour le sapin pectiné, que l'on vient de repiquer.

Le sulfate de fer n'empêche pas la germination ; mais, offert au sol en fortes proportions, il tue presque immédiatement les jeunes plants.

Les composés du potassium, du sodium, de l'ammonium, ont une action toxique aux doses employées.

Le sulfate de potassium est le moins nuisible des sels de potassium ; il n'empêche pas le chêne, qui vient de germer, de s'alimenter à l'aide de ses réserves cotylédonaire, et laisse subsister quelques pins maritimes.

Les cendres de bois sont généralement défavorables à la végétation ligneuse, en raison de leurs composés potassiques.

Les sulfate et superphosphate de chaux paraissent constituer les engrais de choix pour les essences forestières.

VIII. — EXPÉRIENCES EN TERRAIN NATUREL

Nos expériences en terrain naturel ont porté sur des sols de jardin dépourvus de fumure, donnant à l'analyse chimique des chiffres normaux, et sur des sols de forêt dont la composition représente la moyenne de la forêt d'Orléans.

Les essais en terrain naturel ne peuvent fournir des résultats aussi réellement scientifiques que les cultures en eau distillée ou en sols artificiels.

L'absorption s'opère beaucoup plus difficilement dans la terre végétale qu'en solution nutritive ou en sol purement sableux.

Il faut tenir compte aussi que, dans la terre végétale, certains végétaux ligneux, comme le robinier faux-acacia et l'aune, se constituent des nodosités à bactéroïdes favorisant l'assimilation directe de l'azote, ou bien vivent en symbiose avec des champignons microscopiques fixés à leurs racines; ces faits viennent modifier ou masquer l'action des divers engrais minéraux.

La composition de la terre est tellement complexe avec tous ses corps en combinaisons si variables, tous ses microbes et ferments, et leurs sécrétions si diverses, tous ses gaz et toutes ses solutions, que nombre de phénomènes demeurent encore inexpiqués. Un fait, entre autres, relatif à la

pratique agricole est à citer : Certains engrais minéraux réussissent admirablement, dans la région du Centre, sur des sols de composition chimique déterminée; dans la même région, sur des sols de composition chimique identique, avec les mêmes circonstances de climat, d'exposition, d'humidité, de chaleur, de lumière, la réussite n'a pas lieu, sans qu'on puisse encore donner du phénomène observé une explication positive.

Cette explication peut être cherchée dans l'action de micro-organismes qui ne sont pas encore découverts, ou dans l'influence possible de certains corps, dont les traces ne peuvent être décelées par l'analyse chimique; car des quantités infinitésimales de substances très puissamment agissantes peuvent modifier la matière vivante tout en échappant à l'analyse; on en a de remarquables exemples dans la science; on connaît ce fait que certains champignons subissent l'influence des vases métalliques dans lesquels on les cultive.

Pour tous ces motifs, les essais des divers engrais organiques ou minéraux en terrain naturel n'ont une réelle valeur scientifique qu'autant qu'ils sont confirmés par des expériences faites en eau distillée et en sols artificiels.

Expériences préliminaires en terrain naturel

1° DÉPÔT DES ENGRAIS AU PIED DES PLANTS.

Expérience du 18 avril 1905.

La première idée qui se présente, quand on veut expérimenter les engrais sur les plants forestiers, est de déposer ces corps au pied même des plants, et de les enterrer par

un labour léger, sans altérer les racines. C'est ce que nous avons fait sur des planches de diverses essences (chênes, bouleaux, aunes) récemment repiquées, et provenant de semis du printemps 1904.

Les doses étaient calculées à raison de 1.000 kilos à l'hectare.

A la fin de la période de végétation, *le sulfate de chaux et le superphosphate* avaient donné les plus beaux résultats.

Venait ensuite *le sulfate de fer* qui avait bien réussi sur les feuillus de cet âge, à cette époque de l'année.

Les sulfates de magnésie et de manganèse avaient été indifférents.

Les chlorure de potassium, nitrate de soude, nitrate de potasse, nitrate d'ammoniaque, carbonate de potasse, sulfate de potasse, sulfate d'ammoniaque ont produit le dépérissement ou la mort des plants.

Le volume moyen des tiges était doublé chez celles qui avaient été traitées par *le sulfate ou le superphosphate de chaux* ; il était d'un quart en plus chez les végétaux traités par le sulfate de fer.

On peut expliquer la réussite du sulfate de fer par son action chlorophyllienne, et aussi par sa décomposition dans un sol muni de calcaire et sa transformation en sulfate de calcium et oxyde de fer.

2° INFLUENCE DU CONTACT DES ENGRAIS SUR LES GRAINES.

Expérience du 6 juin 1905.

Il est très important de savoir exactement avec quels engrais organiques ou minéraux on peut sans danger mettre en contact les graines forestières de nos essences en expérience.

Nous avons semé ces graines avec les engrais eux-mêmes dont l'énumération suit :

Sulfate de chaux, scories, superphosphate, carbonate de potasse, chlorure de potassium, sulfate d'ammoniaque, nitrate de soude, sulfate de potasse, sulfate de fer, nitrate de potasse, sang desséché.

Seuls, le *plâtre* et les *scories* n'ont pas nui à la levée des graines, et l'ont même notablement accélérée.

1° SEMIS

Chêne pédonculé, Hêtre, Pin maritime,

Quercus pedunculata

Fagus sylvatica

Pinus maritima

P. sylvestre, P. noir, P. pinier.

P. sylvestris

P. austriaca

P. pinaster

Expérience du 17 avril 1906.

Sur un terrain non fumé, de la composition normale d'un sol de jardin, nous traçons deux longues planches de 1 mètre de largeur, parallèles, séparées l'une de l'autre par une distance de 1 mètre.

Dans chaque planche respective, 15 carrés de 1 mètre carré, placés à 1 mètre de distance les uns des autres, seront les carrés d'expérience.

Chaque carré de l'une des deux planches reçoit 1 kilogramme de chacun des engrais respectifs, et chaque carré de l'autre en reçoit seulement 200 grammes.

Les graines sont semées le 17 avril 1906.

Les engrais organiques et minéraux sont :

- Nº 1. Fumier de cheval ;
— 2. Sang desséché ;
— 3. Cendres de bois ;
— 4. Chaux ;
— 5. Nitrate de potasse ;
— 6. Sulfate de potasse ;
— 7. Sulfate d'ammoniaque ;
— 8. Nitrate de soude ;
— 9. Kaïnite ;
— 10. Chlorure de potassium ;
— 11. Scories Thomas ;
— 12. Superphosphate ;
— 13. Sulfate de fer ;
— 14. Sulfate de chaux ;
— 15. Témoin.

On observe que la levée des graines est la plus rapide et la meilleure dans le sulfate de chaux, *dès le 25 mai*.

Le sulfate de fer à forte dose a considérablement gêné la levée des pins maritime et pinier.

L'ordre d'apparition des résineux est le suivant : d'abord les pins noir et pinier, puis le sylvestre et enfin le maritime.

C'est dans le sulfate de chaux qu'apparaissent les trois premiers plants de chêne.

Au 10 juillet, les semis feuillus et résineux sont en excellent état de végétation dans le sulfate de chaux, le superphosphate, les scories, le fumier de cheval.

Le sulfate de fer à dose forte a nui à la végétation.

Dans les carrés de la chaux, la végétation est assez bonne.

Le chlorure de potassium, la kaïnite, le nitrate de soude, le sulfate de potasse, les cendres, le sang desséché ont nui

à la végétation à des degrés divers, et proportionnellement à la dose d'engrais employé.

Au 3 octobre 1906, les résultats sont les suivants :

Le sulfate de chaux et le superphosphate ont fourni les résultats les meilleurs.

Viennent ensuite *les scories, la chaux, le fumier*, puis les carrés témoins.

Le sulfate de fer, à forte dose, a continué son action nuisible; à dose faible, son influence a été moindre.

Pour les autres substances, leur action a été soit retardatrice, soit nettement toxique.

Les corps les plus toxiques, même à doses faibles, ont été *le chlorure de potassium et le nitrate de soude*.

Chêne pédonculé, Sapin pectiné, Pin sylvestre,

Quercus pedunculata

Abies pectinata

Pinus sylvestris

Pin noir

Pinus austriaca

Expérience du 28 mai 1906.

C'est une vérification de l'expérience du 17 avril 1906.

Dans une grande planche de 1 mètre de largeur, en terre de jardin, on a tracé 15 carrés de 1 mètre carré, situés à 1 mètre les uns des autres, et on a mis dans chacun de ces carrés respectivement 200 grammes des engrais habituels.

On y a semé le chêne, le sapin, les pins sylvestre et noir, par rangées équidistantes.

Au 4 octobre 1906, on pouvait conclure au résultat favorable fourni par *le sulfate et le superphosphate de chaux*, les

scories, la chaux, le fumier ; les autres substances ont donné des résultats plus ou moins défavorables.

Chêne pédonculé, Hêtre, Sapin, Pin sylvestre,

Quercus pedunculata

Fagus

Abies

Pinus sylvestris

sylvatica

pectinata

P. maritime, P. noir

P. maritima

P. austriaca

Expérience du 7 mai 1908.

Dans des clairières situées au milieu des bois, nous avons choisi deux places d'essai de 2 mètres carrés chacune.

Dans l'une nous avons mis 400 grammes de sulfate de calcium, dans l'autre 400 grammes de sulfate de potassium.

Après avoir enterré l'engrais, nous avons semé des rangs de chêne pédonculé, hêtre, sapin, pins sylvestre, maritime, noir.

Pour toutes les essences, nous avons constaté une différence remarquable dans la levée des graines et dans la végétation en faveur du *sulfate de calcium*.

2° REPIQUAGES ET RECÉPAGES

Chêne, Bouleau, Aune, Pins sylvestre, laricio, noir,

Quercus	Betula alba	Alnus	Pinus sylvestris	P. laricio	P. austriaca
pedunculata		glutinosa			

Expérience du 21 novembre 1905.

Cette expérience a pour objet l'action des engrais organiques et minéraux sur *les repiquages* en sol naturel.

Nous avons choisi un terrain n'ayant pas été fumé.

Nous y avons tracé 14 grandes planches de 10 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur, disposées parallèlement, et distantes de 1 mètre les unes des autres.

Nous y avons mis les engrais le 21 novembre 1905, dans la proportion de 1000 kilos par hectare, sauf le fumier (10.000 kgr.) et le sang desséché (2.000 kilos).

Chaque planche était ainsi désignée :

- N° 1. Fumier de cheval ;
- 2. Sang desséché ;
- 3. Nitrate de soude ;
- 4. Sulfate d'ammoniaque ;
- 5. Sulfate de fer ;
- 6. Sulfate de chaux ;
- 7. Chaux ;
- 8. Superphosphate de chaux ;
- 9. Scories ;
- 10. Témoin ;

- N° 11. Chlorure de potassium ;
- 12. Sulfate de potasse ;
- 13. Cendres de bois ;
- 14. Kaïnite.

Les jeunes plants ont été repiqués le 22 novembre 1905, avec les précautions habituelles ; ils provenaient des semis du printemps précédent.

Au 10 juillet 1906, on constate que *le sulfate de chaux, le superphosphate, les scories, la chaux*, ont produit les effets les meilleurs.

Les repiquages du fumier sont en bon état ; de même ceux du fer.

Ceux du sang desséché, du nitrate de soude, du sulfate d'ammoniaque, du témoin, de la kaïnite sont en assez bonne végétation.

Les feuillus des cendres vont assez bien ; les résineux sont très médiocres.

Dans le chlorure de potassium et le sulfate de potasse les résineux et les feuillus sont en très mauvais état.

Le 27 juillet 1906, on ajoute 100 grammes d'engrais par mètre carré respectivement sur chaque planche, et on observe les effets produits au 6 octobre 1906.

Les changements sont les suivants :

Les feuillus du nitrate de soude ont souffert, et les résineux y sont morts.

Dans le chlorure de potassium, les feuillus sont de plus en plus dépérissants, et les résineux sont morts.

Il en est de même pour les feuillus dans le sulfate de potasse ; mais la situation des résineux n'est pas devenue plus mauvaise.

Dans les cendres, les feuillus n'ont rien gagné en développement ; les résineux n'ont pas changé.

Dans la kaïnite, les résineux sont dépérissants.

Le sulfate de chaux, le superphosphate, les scories, la chaux ont donné la végétation la plus belle, le chlorure de potassium la plus mauvaise.

Les composés du calcium ont développé la végétation ligneuse; ceux du potassium l'ont ralentie.

Cette expérience du 21 novembre 1905 est continuée en 1907, comme en 1906.

Le 19 avril 1907, on arrache les aunes, en laissant les bouleaux et les chênes ainsi que les résineux; on repique de nouveaux plants de chênes et de résineux, et on remet 100 grammes d'engrais par mètre carré avec la même dose de fumier que précédemment dans la planche qui lui est réservée.

Au 15 septembre 1907, on constate les résultats de la végétation:

Le sulfate de chaux, le superphosphate, les scories, et la chaux ont admirablement réussi.

Le fumier a produit une bonne végétation.

Le sulfate de fer n'a été mauvais que pour les tout jeunes plants; il en est de même du sulfate d'ammoniaque.

Le sang desséché porte des plants médiocres; les végétaux sont dépérissants dans les cendres et la kaïnite, ainsi que dans le nitrate de soude.

C'est dans le *chlorure de potassium* que la végétation est la plus ralentie et la plus mauvaise; elle l'est moins dans le sulfate de potasse.

Si nous examinons les bouleaux poussés *dans le sol plâtré*, nous constatons des tiges très vigoureuses, couvertes de



Fig. 22. — Cime de jeune bouleau,
amené à fruit par les engrais potassiques.
Expérience commencée le 21 novembre 1905.

nombreuses lenticelles, portant toutes les marques d'une vie active.

Si nous observons les bouleaux du *chlorure de potassium*, nous voyons des tiges peu vigoureuses, couvertes de lichens à leur base, et dont quelques-unes se sont déjà mises à fruits.

Dans le *sulfate de chaux* :

Les dimensions d'une tige moyenne de bouleau sont :

Hauteur de la tige = 2 m. 20 ; circonférence de base = 0 m. 10 ; circonférence moyenne = 0 m. 05.

Dans le *chlorure de potassium* :

Hauteur de la tige = 1 m. 09 ; circonférence de base = 0 m. 05 ; circonférence moyenne = 0 m. 025.

La tige, dans le sel potassique, a donc des dimensions moitié moindres que dans le sel calcique.

Les tiges des jeunes chênes pédonculés ont dans le *sulfate de chaux* :

Hauteur = 0 m. 60 ; circonférence de base = 0 m. 065 ; circonférence moyenne = 0 m. 0325.

Dans le chlorure de potassium :

Hauteur = 0 m. 30 ; circonférence de base = 0 m. 032 ; circonférence moyenne = 0 m. 016.

Nous voyons donc pour les chênes les mêmes proportions remarquables que pour les bouleaux : le sel potassique est un ralentisseur de la végétation, qui diminue les dimensions moyennes de la tige dans la proportion de moitié.

Est-ce à dire que les sels potassiques doivent être systématiquement rejetés de la culture forestière ? Les faits de mise à fruits, que nous avons observés sur des bouleaux si jeunes, nous indiquent le contraire ; les sels potassiques pourront être extrêmement précieux à employer toutes les fois que l'on cherchera, dans un peuplement forestier, une coupe d'ensemencement à une époque déterminée ; de nos

observations tout permet de déduire qu'on pourra mettre à fruits à l'aide d'une forte dose de sulfate ou de chlorure de potassium.



A

B

Fig. 23. — Chênes pédonculés de 3 ans.

Un groupe (A) en sol additionné de plâtre
et un groupe (B) en sol additionné de chlorure de potassium.
Terre de jardin.

Expérience du 21 novembre 1905 au 7 octobre 1907.

Si, après la période de végétation, on observe les poids secs de la récolte, on trouve :

Tige de bouleau, traité au plâtre ou au superphosphate = 640 grammes avec les branches, 310 grammes sans les branches.

Tige de bouleau, traité aux sels potassiques = 325 grammes avec les branches, 165 grammes sans les branches.

Tige de chêne pédonculé, traité au plâtre ou au superphosphate = 30 grammes avec les branches, 15 grammes sans les branches.

Tige de chêne pédonculé, traité aux sels potassiques = 16 grammes avec les branches, 8 grammes sans les branches.

Les sels potassiques ont donc diminué les poids secs de moitié environ.



Fig. 24. — Bouleaux de trois ans.

L'un (A) en sol de jardin additionné de plâtre,
l'autre (B) en sol de jardin additionné de chlorure de potassium.
Influence comparative des milieux calcique et potassique.

Expérience du 21 novembre 1905 au 7 octobre 1907.

En 1908, l'expérience continue sur ces grandes planches de 10 mètres carrés, jusqu'au 10 novembre.

Le 9 mai on remet 2 kilogrammes d'engrais par planche, soit 2.000 kilogrammes à l'hectare.

On a recépé quelques chênes et quelques bouleaux pour observer les rejets, et repiqué quelques sapins pectinés.

Le *sulfate de calcium* produit une végétation remarquable chez les résineux et chez les feuillus, avec des rejets très vigoureux sur les tiges feuillues recépées.

Il en est de même du *superphosphate*.

Le *fumier* de cheval et les *scories* ont donné de bons résultats ; à noter cependant un sapin pectiné dont les feuilles ont pâli, dans la planche des scories, fait probablement dû à la chaux de ces dernières.

La *chaux* favorise beaucoup la végétation des feuillus, spécialement les rejets de tiges ; chez les résineux, notamment chez les pins maritimes, son action a été favorable ; il faut excepter cependant les sapins pectinés, dont les feuilles ont pris une teinte jaunâtre.

Le *témoin* est en assez bon état de végétation ; cependant les pins maritimes sont moins élevés que dans les engrais indiqués précédemment ; il en est de même des autres essences.

Le *sang*, le *nitrate de soude* et le *sulfate d'ammoniaque*, ont laissé pousser d'assez beaux rejets, mais ont confirmé, pour le reste, les résultats déjà acquis.

Le *sulfate de fer*, sur les plants qui avancent en âge, possède une action favorable.

Les *engrais potassiques* (*chlorure de potassium*, *sulfate de potasse*, *cendres*, *kaïnite*) sont toxiques ; il faut noter toutefois que les trois derniers corps n'ont pas empêché une production assez vigoureuse de rejets de chênes et de bouleaux ; le *chlorure de potassium* est le composé le plus nuisible aux végétaux ligneux.

Il est intéressant, particulièrement pour le bouleau, de comparer les dimensions produites par les composés calciques à celles qui sont données par les composés potassiques, à la fin de 1908.

Moyenne des tiges de bouleaux

	Dans les composés calciques	Dans les composés potassiques
Hauteur	3 ^m 50	1 ^m 95
Circonférence de base . . .	0 ^m 140	0 ^m 084
Circonférence médiane. . .	0 ^m 070	0 ^m 039

Nous observons encore que les tiges provenant des engrais potassiques sont couvertes de lichens et présentent peu de lenticelles, tandis que les tiges des engrais calciques sont parfaitement saines, possèdent de nombreuses lenticelles et indiquent une intensité vitale bien supérieure.

Chêne pédonculé, Bouleau, Aune, Sapin, Pin sylvestre

Quercus pedunculata Betula alba Alnus glutinosa Abies pectinata Pinus sylvestris

Expérience du 18 avril 1906

Le dispositif consistant en quinze carrés de 1 mètre carré, tracés à 1 mètre les uns des autres, sur deux longues planches parallèles, est identique à celui de l'expérience de *semis* du 17 avril 1906.

Comme dans cette dernière expérience, les carrés d'une

des deux planches reçoivent 1 kilogramme d'engrais, les carrés de l'autre 200 grammes seulement.

Le 18 avril, on procède au repiquage des chênes, bouleaux, aunes, pins sylvestres, sapins, (semis de l'année précédente), et au recépage de quelques chênes et bouleaux dans chaque carré, afin d'étudier l'influence des engrais sur les rejets de tige.

Ces engrais sont les mêmes que ceux de l'expérience de semis du 17 avril 1906.

Au 10 juillet 1906, la végétation est excellente dans les carrés du *sulfate de chaux*; les chênes et bouleaux recépés au collet ont fourni de beaux rejets.

Le superphosphate, les scories, le fumier de cheval ont donné de très bons résultats; les témoins sont inférieurs.

La chaux a favorisé *les feuillus plus que les résineux*.

Pour le sulfate de fer, même remarque que pour les semis : il est surtout dangereux à forte dose.

Les sels de potassium, de sodium, d'ammonium, les cendres, le sang sont nuisibles.

L'examen au 3 octobre 1906 confirme ces résultats :

Le *sulfate de chaux* et le *superphosphate* apparaissent comme les meilleurs engrais; les *scories*, la *chaux*, le *fumier* viennent en seconde ligne.

Le *sulfate de fer* à dose faible a plutôt favorisé la végétation.

Le *chlorure de potassium* et le *nitrate de soude* sont les corps les plus nuisibles.

Chêne pédonculé, Sapin, Pin sylvestre

Quercus pedunculata

Abies
pectinata

Pinus sylvestris

Pin maritime, Pin noir

P. maritima

P. austriaca

Expérience du 18 avril 1907

Dans un terrain non fumé antérieurement, on trace deux grandes planches parallèles de 1 mètre de largeur, distantes de 1 mètre l'une de l'autre. Dans chacune de ces planches on dessine 13 carrés de 1 mètre carré, placés à 1 mètre les uns des autres.

Les carrés de l'une des planches reçoivent 200 grammes, les carrés de l'autre 1.000 grammes des divers engrais, sauf le fumier mis aux doses respectives de 2 et 4 kilogrammes.

Dans chaque planche les carrés sont ainsi numérotés :

- N° 1. Fumier de cheval ;
- 2. Sang desséché ;
- 3. Cendres ;
- 4. Chaux ;
- 5. Nitrate de potasse ;
- 6. Sulfate d'ammoniaque ;
- 7. Sulfate de potasse ;
- 8. Nitrate de soude ;
- 9. Kaïnite ;
- 10. Chlorure de potassium ;
- 11. Scories ;
- 12. Superphosphate ;
- 13. Sulfate de fer ;
- 14. Sulfate de chaux.

Les numéros 15 sont les deux carrés témoins.

Dans chaque place d'expérience on repique des jeunes semis du printemps précédent : chênes pédonculés, sapins pectinés, pins sylvestres, maritimes et noirs.

On ajoute partout un rang de jeunes chênes recépés au niveau du collet de la racine, afin de pouvoir observer l'action des divers corps au point de vue des rejets de tige.

Quelques pins piniers ont été repiqués dans la rangée des pins noirs.

Dès le 26 avril 1907, la plupart des résineux sont tués dans le chlorure de potassium, le sulfate de potasse, la kaïnite, le nitrate de potasse, le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque ; ils sont vivants dans les autres engrais.

Au 31 juillet 1907, la végétation est excellente dans le *sulfate de chaux*, le *superphosphate*, les *scories*, la *chaux*, le *fumier*, satisfaisante dans les carrés témoins, mauvaise dans le sulfate de potasse, le nitrate de soude, la kaïnite, les cendres, le sang ; très mauvaise dans le chlorure de potassium, le nitrate de potasse, le sulfate d'ammoniaque ; nulle dans le sulfate de fer.

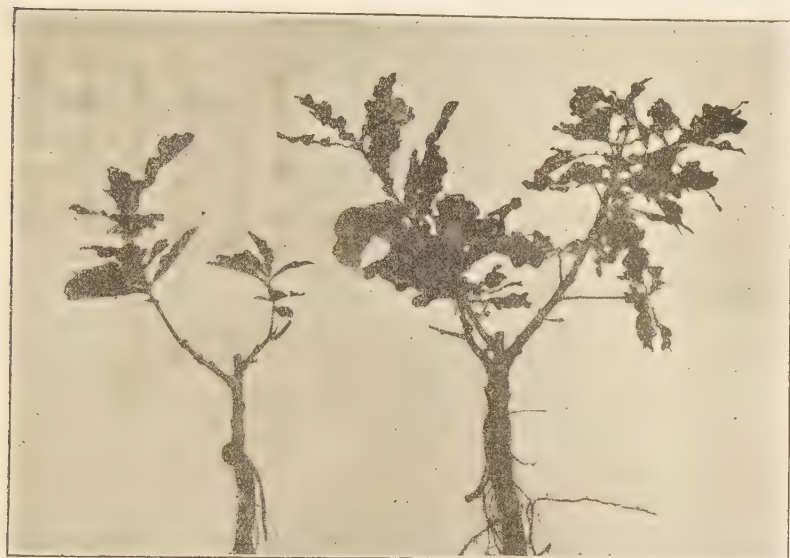
Il est à noter que la chaux a donné des résultats moins bons pour les sapins que pour les autres essences.

Au 15 septembre 1907, le *sulfate de chaux*, le *superphosphate*, les *scories* (sauf pour trois pins noirs), la *chaux* (sauf pour le pin pinier), le *fumier*, fournissent les résultats les meilleurs. Vient ensuite le témoin. Le *sulfate de chaux* a notablement plus favorisé les *rejets de chêne* que les autres substances.

Dans les cendres et le sang desséché tous les végétaux sont mourants.

Sauf quelques chênes dépérissants, qui ne conservent quelque vitalité que grâce aux réserves de leurs cotylédons,

tous les végétaux ont péri dans le sulfate de potasse, le nitrate de soude, la kaïnite, le chlorure de potassium, le nitrate de potasse, le sulfate d'ammoniaque, le sulfate de fer.



B

A

Fig. 25. — Chêne pédonculé, semis de 1906.

Recépagement du 18 avril 1907. Sol de jardin.

Action comparative du sulfate de chaux (A) et de la terre ordinaire (B)
dans la production des rejets de tige.

Expérience du 18 avril 1907 au 7 octobre 1907

Le 20 novembre 1907, le résumé de l'état végétatif est :

Tout *excellent* dans le *sulfate de chaux*, le *superphosphate*,
les *scories* (sauf 3 pins noirs), la *chaux* (sauf les pins
piniers et les sapins), le *fumier* ;

Tout *médiocre* dans les *cendres* ;

Tout *dépérissant* dans le *sang desséché* ;

Tout *mort*, sauf quelques chênes, dans les autres substances.

Le contraste est frappant surtout entre les beaux rejets de chêne obtenus dans le plâtre et ceux qui sont fournis dans le témoin.

L'expérience est continuée en 1908.

Au 30 avril 1908, on remet 200 grammes (par mètre carré) des divers corps expérimentés.

Au 26 septembre 1908, on constate *les excellents effets du superphosphate et du sulfate de calcium* ; le maritime est, notamment, remarquable dans leurs carrés.

Le fumier de cheval, et les scories ont très bien réussi.

Dans la chaux, les feuillus sont en parfait état de végétation ; mais les sapins pectinés souffrent visiblement, et plusieurs présentent des feuilles jaunies.

Les essences végètent assez bien dans le carré témoin.

Les autres corps ont été plus ou moins toxiques.

L'examen du 30 octobre 1908 confirme ces résultats : *Végétation superbe dans les carrés du superphosphate et du sulfate de calcium ; bonne influence des scories et du fumier ; action de la chaux stimulante pour les feuillus mais nuisible aux sapins pectinés.*

Pin sylvestre

Pinus sylvestris

Expérience du 8 mai 1908.

Sur des planches déjà garnies de pins sylvestres, semés au printemps 1907 et repiqués à l'automne 1907, très réguliers, on a choisi des places d'essais de 1 mètre carré ; dans

ces carrés d'expérience on a mis entre les lignes de pins et enterré légèrement 100 grammes des engrais suivants :

Sulfate de calcium, superphosphate, scories, chaux, sulfate de fer, sulfate de potassium, chlorure de potassium, nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque, kaïnite, nitrate et sulfate de manganèse.

Au 24 octobre 1908, on a constaté que les quatre premiers corps ont bien réussi ; les sulfates de fer et de potassium, ainsi que les nitrate et sulfate de manganèse n'ont pas marqué ; le chlorure de potassium, la kaïnite, le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque ont été nuisibles. On ne peut donc pas, comme plusieurs sylviculteurs l'avaient pensé, compter sur les sels de manganèse pour activer la végétation du pin sylvestre.

3° BOUTURAGES

Saule-osier, Peuplier noir

Salix viminalis

Populus nigra

Dans nos expériences sur les semis (17 avril 1906), et sur les recépages (18 avril 1906), nous avons mis, en bordure des places d'essais, des boutures de saule-osier, et de peuplier noir.

Nous avons constaté que c'est dans le *sulfate de chaux*, le *superphosphate* et les *scories* que les boutures reprennent le plus vite et offrent la plus belle végétation.

Les composés du potassium et du sodium sont les plus toxiques.

4° EXPÉRIENCES EN FORÊT

Ces essais ont pleinement confirmé les résultats précédemment obtenus. Ils ont porté sur le chêne pédonculé, le bouleau commun, le pin sylvestre, en février 1907.

La technique était la suivante :

Les plants utilisés sont des semis du printemps 1906.

Les vides à repeupler étaient situés dans des taillis coupés l'année précédente, et débarrassés de leurs produits.

La composition géologique et chimique du sol représente la moyenne de la forêt d'Orléans.

Deux ouvriers, un bêcheur et un planteur, travaillent de concert. Le bêcheur, à l'aide d'une bêche demi-circulaire, creuse un trou de la profondeur d'un fer de bêche, et dépose, à côté de ce trou, la terre qui en provient. Le planteur, qui porte un sac contenant la provision d'engrais expérimenté, saupoudre le fond et les bords du trou d'une pincée de cet engrais (environ 5 grammes) ; une autre pincée, sensiblement de même poids, est mélangée à la terre retirée du trou. Puis la plantation a lieu comme de coutume. Le planteur maintient d'une main le jeune plant au centre du trou, le collet de la racine au niveau du sol naturel, et, de l'autre main, tasse légèrement autour du jeune plant la terre mélangée à l'engrais ; celle qui était précédemment à la surface est mise au fond du trou et inversement. Le trou est rempli et la plantation achevée sans perte sensible de temps. La dépense d'engrais a été d'environ 100 kilogrammes à l'hectare, les plants étant repiqués à 1 mètre les uns des autres.

La réussite a eu lieu pour les mêmes engrais que nous avons déjà signalés : *sulfate de chaux, superphosphate, scories, chaux*.

Le *sulfate de chaux* est tout particulièrement remarquable : il a notablement favorisé les reprises de pins sylvestres dans les sols les plus pauvres, déjà envahis par les bruyères, et pendant une année particulièrement sèche.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS EN TERRAIN NATUREL

Parmi les engrais organiques et minéraux, nous croyons pouvoir classer *en première ligne le sulfate et le superphosphate de chaux*, puis, *en seconde ligne*, les *scories* et la *chaux*, avec le fumier ordinaire, quand celui-ci peut être fourni à doses massives.

Les cendres de bois et le sang desséché donnent des résultats médiocres.

Les composés du potassium, du sodium, de l'ammonium sont dangereux à manier en sylviculture et peuvent fréquemment déterminer la mort des jeunes végétaux ligneux.

En terrain naturel, une remarque intéressante doit être faite au sujet du sulfate de fer : si on le mélange à la terre avant de faire le semis ou le repiquage des plants, il est toxique, même en quantité modérée ; si on le dépose à la surface du terrain, à la même dose, au pied de plants forestiers déjà fixés au sol, il favorise la végétation. Nous avons pensé que l'explication de ce phénomène pouvait être cherchée dans l'action chlorophyllienne de ce corps, et dans les réactions chimiques qui se passent dans le sol ; dans le premier cas, les régions absorbantes de la racine sont immédiatement en contact avec le composé toxique ; dans le second cas, le sel étant déposé à la surface du terrain, les eaux de pluie ne le dissolvent et ne l'entraînent que progressivement au contact des radicelles et les réactions chimi-

ques du sol ont le temps de se produire ; son action devient favorable.

C'est en terrain naturel que l'on observe le plus évidemment les deux « facies » si distincts que donnent aux végétaux ligneux les engrais minéraux : le *facies calcique*, avec sa végétation luxuriante, le *facies potassique* avec ses tendances au rachitisme et à la mise à fruits.

Nous verrons quelles différences anatomiques correspondent à ces deux apparences si différentes.

IX. — MODIFICATIONS ANATOMIQUES DES VÉGÉTAUX LIGNEUX SUIVANT LE MILIEU MINÉRAL

1° Résumé historique.

On sait que les végétaux en général éprouvent, suivant les divers milieux, des modifications dans leur morphologie externe et interne, et dans leurs fonctions physiologiques.

M. Gaston Bonnier, dans le livre où il a réuni, en 1893, ses plus beaux travaux sur l'anatomie expérimentale des végétaux, écrit que « ces recherches, poursuivies pendant plus de dix années, pourront peut-être contribuer à faire voir l'importance de cette partie nouvelle de la science qu'on a nommée l'*Anatomie expérimentale*. »

Il a, en réalité, créé cette science nouvelle par ses cultures expérimentales dans les Alpes et les Pyrénées, par ses recherches sur l'adaptation des plantes au climat alpin, sur les plantes arctiques comparées aux mêmes espèces des Alpes et des Pyrénées, sur l'influence de la lumière électrique sur la forme et la structure des plantes.

Rappelons qu'il a établi ainsi les bases de cette science :

Dans le climat alpin :

L'éclairement plus intense et l'air plus sec produisent une épaisseur plus grande du limbe de la feuille, un dévelop-

pement plus grand du tissu en palissade, plus de chlorophylle, un plus grand nombre de stomates, une cuticule mieux marquée, une augmentation des fonctions chlorophylliennes ;

La température plus basse, unie aux deux premières causes, contribue à l'augmentation du développement de tous les tissus de protection.

Les expériences de MM. Léon Dufour et Gêneau de Lamarlière relatives à l'influence de l'éclairement, celles de M. Lothelier relatives à l'influence de l'air sec sur la structure des plantes ont fourni des conclusions dans le même sens que les travaux de M. Bonnier.

Dans le milieu arctique :

L'humidité de l'air diminue la différenciation de tous les tissus, amoindrit le tissu en palissade de la feuille, augmente les lacunes, rend la cuticule moins épaisse.

L'éclairement continu et peu intense rend les feuilles plus épaisses et leur constitue une structure plus simple.

La réalisation, par l'électricité, du *milieu lumineux continu* d'intensité constante, avec élimination des radiations ultra-violettes nuisibles, a donné :

Une chlorophylle plus développée, plus uniformément répandue, et se produisant même dans des éléments qui n'en contiennent pas normalement, comme l'endoderme, les rayons médullaires, la moelle ;

Une simplification de la structure du limbe de la feuille, par exemple la diminution ou la disparition du tissu en palissade, la diminution d'épaisseur des cellules épidermiques ;

Une simplification de la structure de la tige, par exemple l'unification des deux zones de l'écorce, la réduction du liège, la disparition de l'endoderme, l'atténuation ou la

disparition de la lignification dans le péricycle ou les fibres du bois ;

La structure produite par la lumière électrique continue est intermédiaire entre la structure normale et celle qui se constitue à l'obscurité, sauf le verdissement. C'est ce que l'on désigne sous le nom d'*étiolement vert*, caractérisé par la surabondance de la chlorophylle et la simplification de la structure.

Les éclairagements électriques discontinus ont fourni des résultats confirmant les expériences de M. Dufour :

Cuticule plus marquée ;
Tissu en palissade plus développé ;
Plus grande épaisseur de la feuille ;
Stomates plus nombreux, etc...

C'est encore à l'aide de la lumière électrique, dans un air humide et avec un éclairement peu intense, que M. Bonnier a réalisé artificiellement le milieu arctique, et a démontré directement son influence sur la morphologie interne et externe des végétaux.

Après les travaux de Knop, de Raulin, de Pasteur, de Van Tieghem, M. Dassonville, en 1898, a étudié *l'action des sels minéraux* sur la forme et la structure des végétaux. Il déclare qu'il n'a fait qu'aborder ces recherches ; le sujet est, en effet, considérablement vaste et complexe quand on envisage tous les végétaux en général.

Parmi les végétaux *ligneux*, le seul examiné par lui en eau distillée est le *pin maritime*.

Il a observé que le « *nitrate de calcium hâte la lignification du bois* ».

Toutes les expériences de M. Dassonville, en eau distillée, sont basées sur la solution de Knop, considérée comme la

solution *optima* pour tous les végétaux. Or, pour les végétaux ligneux spécialement, on peut se demander si la valeur *optima* de cette solution est irréfutablement démontrée par des expériences suffisamment prolongées.

Quoi qu'il en soit, les principales conclusions de M. Dasonville sont les suivantes :

Dans la solution de Knop, pour des plantes de même âge, en voie de croissance, les sels augmentent la multiplication et les dimensions des éléments anatomiques ; l'eau distillée les diminue, mais, par l'effet d'une sclérose hâtive, accélère la cutinisation, la sclérification et la lignification.

Le *sulfate de magnésie*, indispensable à la plante, retarde d'abord, puis accélère la croissance.

Le *phosphate de potasse*, également indispensable, différencie les tissus, sclérifie le péricycle de l'axe hypocotylé du ricin notamment, lignifie le cylindre central de la racine du blé ainsi que la base de la tige, et prévient ainsi *la verse*.

Le *silicate de potasse* lignifie les cellules périphériques du sommet de la tige.

Les *nitrates* ont une action très différente suivant les espèces, l'époque de la végétation, les doses employées.

La *potasse* favorise la croissance et augmente la quantité d'eau contenue dans la plante, mais retarde la différenciation des éléments de soutien et permet ainsi *la verse* des graminées.

La *soude* hâte la lignification de la base de la tige et prévient *la verse*.

La *chaux* et la *magnésie* ont des effets également utiles sur le chanvre et le sarrasin, et, pour ces plantes, l'ordre d'utilité décroissante des acides serait : acide azotique, puis acide phosphorique, enfin acide chlorhydrique.

Toujours en considérant les végétaux en général, M. So-

lacolu, en 1903, a présenté aussi une intéressante étude relative à l'influence du milieu minéral sur les fonctions et la structure des plantes.

Il a « recherché sur plusieurs espèces végétales, les variations que peuvent subir leurs échanges gazeux par suite de la suppression successive d'un corps simple déterminé dans le milieu nutritif, en se limitant à la suppression du *fer*, de la *potasse*, ou du *phosphore*. Ensuite, il a étudié les modifications apportées à la structure des plantes dans ces conditions d'alimentation. »

M. Solacolu a employé la méthode synthétique indirecte ; il a utilisé la solution de Knop pour l'étude du fer et du phosphore et celle de Nobbe pour la potasse.

Le fer était fourni à l'état de sulfate, en solution au millième.

L'eau employée était l'eau distillée du commerce, redistillée dans un appareil en verre.

M. Solacolu constate qu'*une certaine dose de sels de fer, qui augmente la production dans un terrain déterminé, peut devenir toxique dans un terrain d'une autre composition.*

Il trouve qu'en l'absence du fer :

« La chlorose apparaît ;

Les énergies assimilatrice et respiratoire diminuent ;

Les feuilles sont décolorées et arrêtées dans leur développement. »

Comme M. Dasseville, M. Solacolu déclare que, dans l'état actuel de la science, on ne peut encore se rendre compte de l'action spécifique des *sels de potassium*.

En l'absence de la *potasse*, pour les plantes non ligneuses qu'il a étudiées, il observe :

« Le développement ralenti ;

La tige et les racines plus petites ;

Les feuilles moins épaisses et moins nombreuses;

L'écorce et les éléments sclérifiés réduits;

Le liber diminué;

Le nombre et la grosseur des vaisseaux du bois moindres, sauf chez le lupin;

Le tissu en palissade et le parenchyme des feuilles réduits;

La respiration et l'assimilation moins intenses. »

En l'absence du phosphore, il voit :

« La formation de la chlorophylle entravée et les feuilles jaunies;

La tige et la racine plus petites;

Les feuilles moins nombreuses;

L'écorce réduite;

Les vaisseaux plus petits;

L'assise génératrice de la tige ne fonctionnant que partiellement;

La respiration et l'assimilation moins intenses. »

Mais tandis que « l'absence de la potasse et du phosphore retentit sur la structure dès le début de la végétation, la suppression du fer ne se fait sentir qu'à une période avancée et modifie surtout la structure foliaire. »

2° Principales modifications de structure des plantes ligneuses, dans nos expériences.

On voit que, si on envisage tous les végétaux en général dans leurs rapports avec les divers milieux minéraux, il est difficile de dégager, des expériences faites, des lois s'appliquant à tout le règne végétal.

C'est pourquoi nous avons limité cette étude aux plantes

ligneuses; et on peut regarder ce champ déjà comme bien vaste.

Les végétaux ligneux, soumis à l'action de tel ou tel engrais organique ou minéral, subissent, comme toutes les plantes en général, des modifications anatomiques. Ces variations de structure, plus lentes et plus difficiles à saisir que chez les autres plantes, n'en sont pas moins importantes au point de vue théorique comme au point de vue pratique. Il est intéressant de les mettre en évidence.

Deux milieux minéraux, principalement, ont une influence bien nette et bien distincte sur le végétal ligneux: le milieu *calcique* et le milieu *potassique*.

Ce sont ces deux milieux possédant chacun une action très spéciale que nous avons surtout considérés.

En étudiant histologiquement nos végétaux, nous avons pris toutes les précautions nécessaires pour obtenir des résultats absolument comparables; ainsi, nous avons eu soin de choisir, pour les coupes, des entre-nœuds exactement correspondants.

Nous avons examiné la tige, la racine et les feuilles des végétaux feuillus ou résineux.

La lignification des éléments a été étudiée à l'aide de la phloroglucine et de l'acide chlorhydrique, après l'avoir été par le vert d'iode.

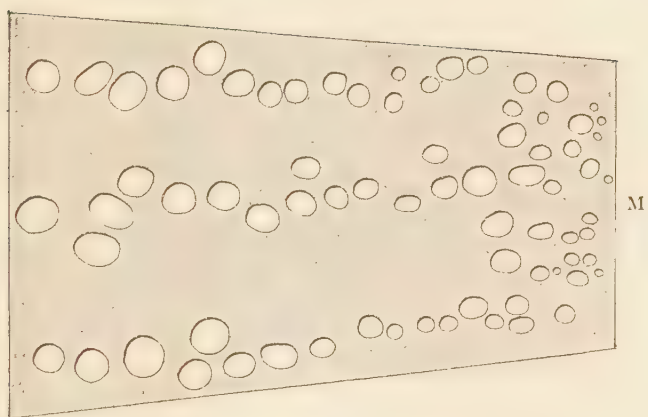
Nous présentons, sous forme de tableaux, les principales différences anatomiques qu'il est urgent de montrer; à la suite sont placées les figures représentant les coupes qui se rapportent à ces tableaux.

Anatomie de la tige de chêne pédonculé

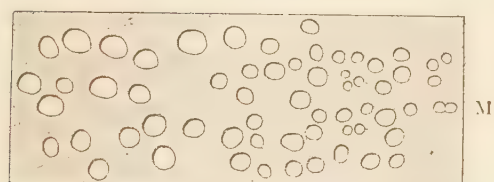
Agé de 2 ans

Traité par le sulfate de calcium.	Traité par le chlorure de potassium.
Vaisseaux larges.	Vaisseaux étroits.
Fibres l'emportant en abondance sur le parenchyme ligneux.	Peu de fibres ; surtout du parenchyme ligneux et des vaisseaux.
Parenchyme ligneux à parois épaisses.	Parenchyme ligneux à parois minces.
Lignification intense des éléments de la tige.	Éléments de la tige moins fortement lignifiés.
Vaisseaux tendant à se disposer en lignes radiales.	Vaisseaux généralement disposés sans ordre apparent.
Formation de bois considérable.	Formation de bois bien moindre.

N. B. — *Dans la racine*, les modifications anatomiques sont de même ordre que dans la tige, et se traduisent principalement par une épaisseur de bois plus grande, et une lignification plus marquée dans le milieu calcique que dans le milieu potassique.



A



B

Fig. 26. — Chêne pédonculé, 2 ans,

Tige.

Section transversale (première année),

Gr. = 66.

Disposition des vaisseaux.

A. — En milieu calcique.

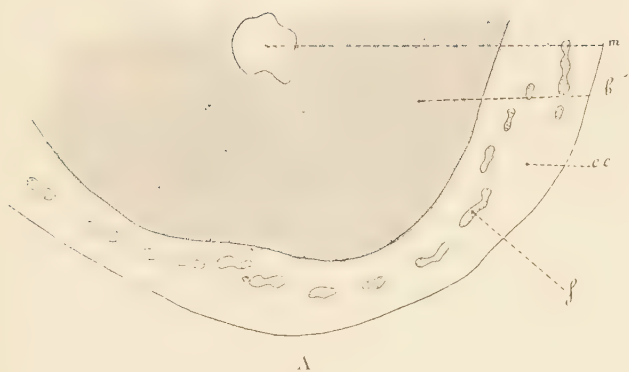
B. — En milieu potassique.

M. — Moelle.

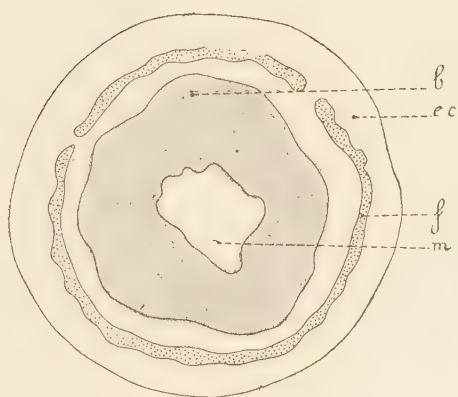
Anatomie du rejet de tige chez le chêne pédonculé

(Pousse de 1 an)

Traité par le sulfate de calcium.	Traité par le chlorure de potassium.
Vaisseaux larges.	Vaisseaux étroits.
Lignification plus tardive des éléments du bois.	Lignification plus hâtive des élé- ments du bois,(mais finalement moins intense).
Rayons médullaires larges.	Rayons médullaires étroits
Fibres libériennes disposées par îlots, et semblant constituées par un anneau qui se serait morcelé en fragments séparés.	Un anneau continu de fibres libériennes.



A



B

Fig. 27. — Chêne pédonculé, rejet de l'année,

A. — En milieu calcique.

B. — En milieu potassique.

Section transversale (demi-schématique).

Grossissement ≈ 50 diamètres.

m. — moelle.
b. — bois.

|

ec. — écorce,
f. — fibres libériennes

Anatomie du rejet de l'année chez le chêne pédonculé

Obtenu dans les solutions de

Sulfate de calcium.

|

Chaux

TIGE

Deux assises de liège très nettes.	Pas de liège net.
Fibres libériennes épaisses.	Fibres libériennes relativement minces.
Un anneau continu de bois secondaire.	Bois secondaire disposé par masses séparées et moins épaisses.
Rayons médullaires sclérifiés.	Rayons médullaires non sclérifiés.
Vaisseaux du bois secondaire larges et épais.	Vaisseaux du bois secondaire étroits et minces.
Une zone continue périmédullaire sclérifiée.	Pas de zone périmédullaire sclérifiée.
Lignification des éléments en général plus accentuée.	Lignification des éléments en général moins prononcée.

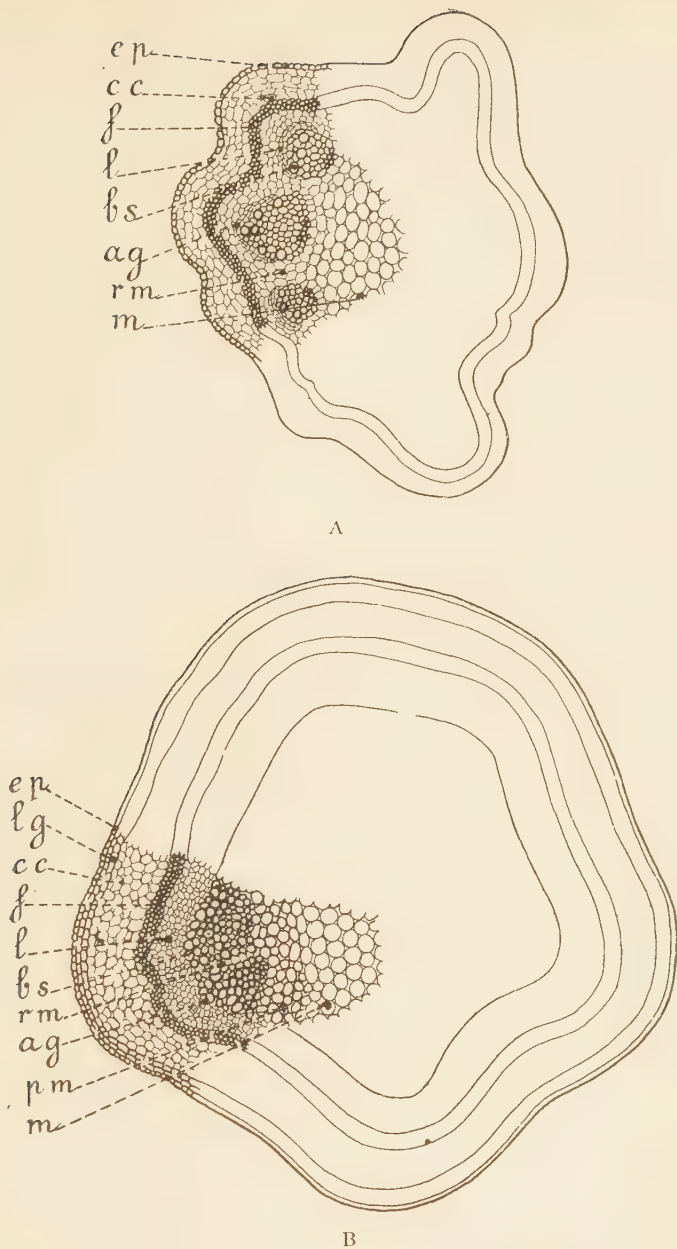


Fig. 28. — Rejets de chêne pédonculé, après quatre mois,

Coupes transversales, Gr. = 125.

A. — En solution de chaux.

B. — En solution de sulfate de chaux.

ep. — épiderme.

lg. — liège.

cc. — parenchyme cortical,

f. — fibres.

l. — liber.

ag. — assise génératrice libéro-ligneuse.

bs. — bois secondaire.

rm. — rayons médullaires.

pm. — zone pérимédullaire sclérifiée

m. — moelle non sclérifiée.

Anatomie du rejet de l'année chez le chêne pédonculé

Obtenu dans les solutions de

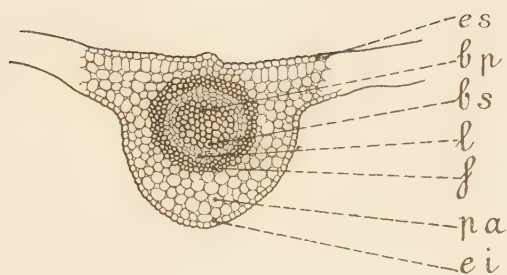
Sulfate de calcium.

|

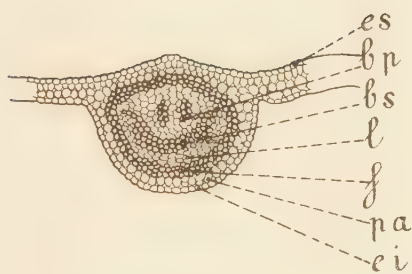
Chaux.

FEUILLE

Feuilles de dimensions normales.	Feuilles plus petites.
Différenciation des éléments très accentuée.	Différenciation des éléments moins prononcée.
Tissu palissadique très net.	Tissu palissadique peu net.
Fibres péricycliques épaisses.	Fibres péricycliques moins épaisses.
Nervure principale à parenchyme épais.	Nervure principale à parenchyme mince.
Bois secondaire épais et faisant corps avec le bois primaire.	Bois secondaire mince et ne faisant pas bloc avec le bois primaire.
Vaisseaux du bois secondaire larges et épais.	Vaisseaux du bois secondaire plus étroits et plus minces.



A



B

Fig. 29. — Chêne pédonculé.

Section transversale de la nervure principale des feuilles,

A. — En solution de sulfate de chaux.

B. — En solution de chaux.

Gr. = 125.

bp. — bois primaire.
bs. — bois secondaire.
l. — liber.
f. — fibres.

pa. — parenchyme.
es. — épiderme supérieur.
ei. — épiderme inférieur.

Anatomie de la tige de bouleau commun (2 ans)

Traité par le sulfate de calcium.	Traité par le chlorure de potassium.
Surface de la tige couverte de lenticelles.	Très peu de lenticelles.
Diamètre médian de 13 mm.	Diamètre médian de 6 mm.
Fibres libériennes disposées par îlots.	Fibres libériennes disposées en ceinture continue.
Vaisseaux larges.	Vaisseaux plus étroits.
Fibres épaisses et bien lignifiées.	Fibres moins épaisses et moins lignifiées.
Rayons médullaires larges.	Rayons médullaires plus minces.
Moelle épaisse et très lignifiée.	Moelle plus petite et moins lignifiée.
Dimensions des éléments du bois de printemps et d'automne sensiblement égales.	Différence visible entre les éléments du bois de printemps et ceux du bois d'automne.

N. B. — *Dans la racine*, on constate, comme dans la tige, en milieu calcique, l'augmentation de l'épaisseur du bois, du diamètre et de l'épaisseur des parois des éléments, de la lignification en général.

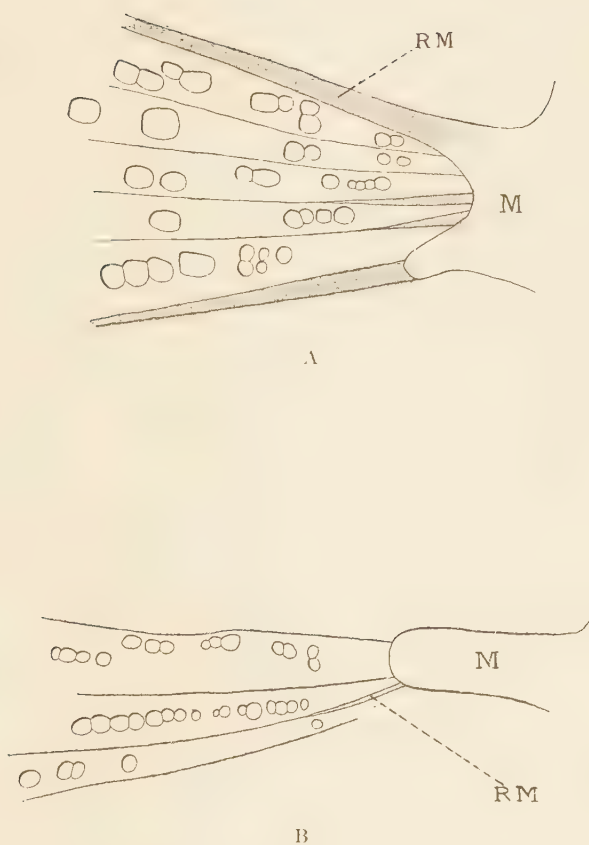


Fig. 30. — Tige de hêtre de deux ans.

Section transversale, demi-schématique.

Gr. = 66.

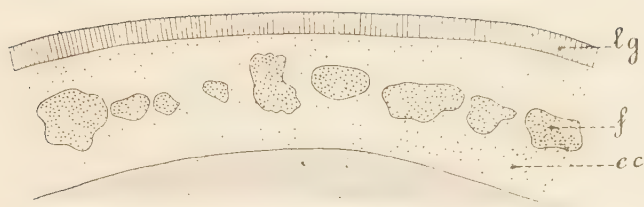
Disposition des vaisseaux :

A. — En milieu calcique.

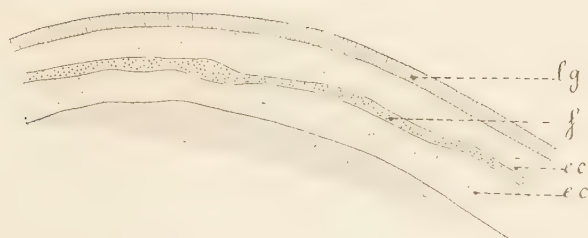
B. — En milieu potassique.

M. — Moelle.

RM. — Rayons médullaires.



A



B

Fig. 31. — Écorce de la tige de bouleau (2 ans).

Section transversale, demi-schématique.

Gr. = 30.

A. — En milieu calcique.

B. — En milieu potassique.

lg. — liège.

f. — fibres.

ec. — écorce.



A



B

Fig. 32. — Bouleau.

Section transversale de deux groupes de fibres.

Grossissement = 500.

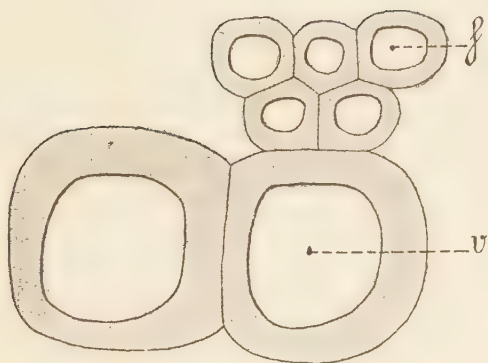
A. — En sol calcaïque.

B. — En sol potassique.

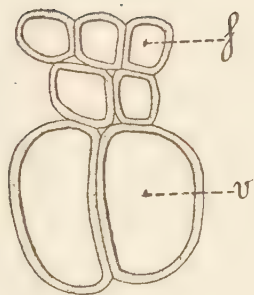
Anatomie de la tige d'aune glutineux (2 ans)

Traité par le sulfate de calcium	En terrain sans sulfate de calcium
Vaisseaux larges, épais.	Vaisseaux plus étroits, plus minces.
Fibres épaisses.	Fibres plus minces.
Parenchyme ligneux à parois épaisses.	Parenchyme ligneux à parois plus minces.
Couches annuelles de bois prenant une très grande épaisseur, (les diamètres de la moelle et de l'écorce ne différant pas sensiblement de ceux du terrain sans sulfate de calcium).	Couches annuelles de bois beaucoup moins épaisses.
Lignification généralement très intense des éléments.	Lignification des éléments moins forte.

N. B. — *Pour la racine*, mêmes observations que pour la tige.



A



B

Fig. 33. — Aune glutineux.

Sections transversales de vaisseaux et de fibres.

Gr. = 500.

A. — En milieu calcique.

B. — En milieu potassique.

v. — vaisseaux.

f. — fibres.

Tige et feuille primordiale de pin maritime

(Semis du printemps 1907, examiné au 31 décembre 1907),

Traité par le sulfate de calcium

Traité par le chlorure
de potassium

TIGE

Longueur de la tige : 0 m. 10.	Longueur de la tige : 0 m. 05.
Diamètre moyen de la tige : 0 m. 0017.	Diamètre moyen de la tige : 0 m. 0010.
Un cercle presque continu de bois autour de la moelle (fibres aréolées).	Bois disposé en groupes d'élé- ments séparés par de larges rayons médullaires.
Bois épais (8 à 10 rangées de fibres aréolées).	Bois plus mince (4 à 7 rangées de fibres aréolées dans chaque massif de bois).
Lignification intense des élé- ments.	Éléments moins fortement ligni- fiés.

N. B. — *Dans la racine*, mêmes constatations que pour la tige, en ce qui concerne l'épaisseur du bois et la lignification.

FEUILLE

Longueur de la feuille primor- diale : 0 m. 025.	Longueur de la feuille primor- diale : 0 m. 018.
Feuille primordiale contenant dans son cylindre central un massif de bois épais et bien lignifié.	Feuille primordiale contenant dans son cylindre central un massif de bois mince et peu lignifié.
Hypoderme sclérifié formé géné- ralement de trois assises de cellules.	Hypoderme sclérifié formé géné- ralement de deux assises.

N. B. — Pour l'étude des feuilles des conifères, nous nous sommes reporté aux savantes recherches morphologiques de M. Daguillon (Thèse Paris, 1890).

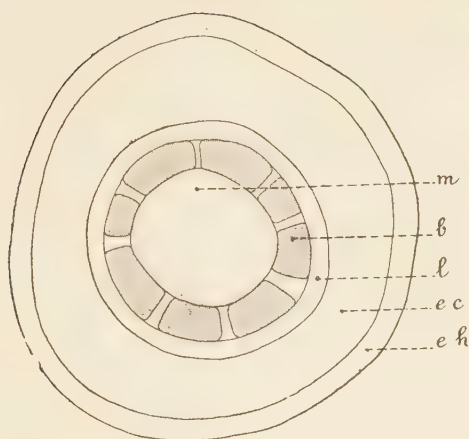


Fig. 34. — Tige de pin maritime, semis d'un an,

Traité par le chlorure de potassium.

Coupe transversale, demi-schématique.

Gr. = 83.

m. — moelle.
b. — bois.
l. — liber.

ec. — écorce.
eh. — épiderme et hypoderme.

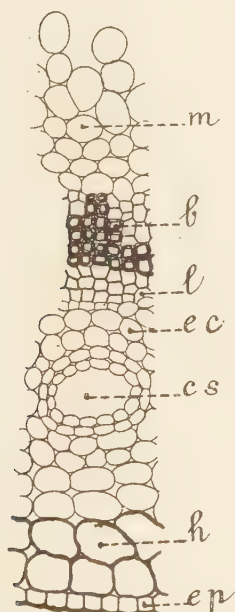


Fig. 35. — Tige de pin maritime, semis d'un an,

Traité par le chlorure de potassium.

Fragment de section transversale.

Gr. = 333.

m. — moelle.
b. — bois (discontin).
l. — liber.
ec. — écorce.

cs. — canal résinifère.
h. — hypoderme sclérifié.
ep. — épiderme.

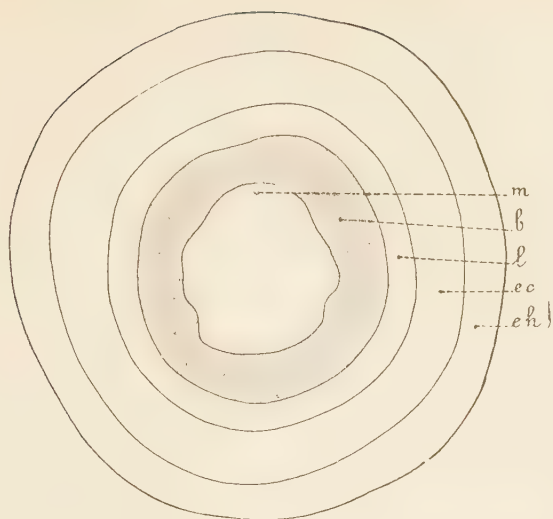


Fig. 36. — Tige de pin maritime, semis d'un an,

Traité par le sulfate de chaux.

Coupe transversale, demi-schématique,

Gr. = 83.

m. — moelle.
b. — bois.
ec. — écorce

l. — liber.
eh. — épiderme et hypoderme.

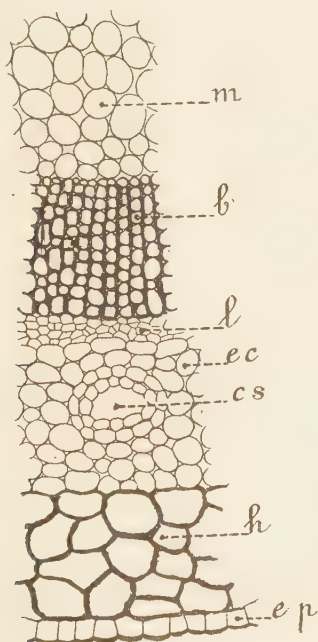


Fig. 37. — Tige de pin maritime, semis d'un an,

Traité par le sulfate de chaux.

Fragment de section transversale.

Gr. = 333.

m. — moelle.
b. — bois (continu).
l. — liber.
ec. — écorce.

cs. — canal résinifère.
h. — hypoderme sclérifié.
ep. — épiderme.

Tige, racine et feuille primordiale de pin maritime

(Semis du printemps 1907, examiné au 31 décembre 1907),

En milieu siliceux avec chaux.

En milieu siliceux sans chaux.

TIGE

Longueur : 0 m. 095.

Diamètre moyen : 0 m. 0014.

Hypoderme sclérifié.

Épiderme à cuticule épaisse.

Liber et surtout bois épais.

Rayons médullaires étroits.

Lignification intense des éléments.

Longueur : 0 m. 050.

Diamètre moyen : 0 m. 0010.

Hypoderme non sclérifié.

Épiderme à cuticule mince.

Liber et bois minces.

Rayons médullaires larges.

Lignification plus faible des éléments.

RACINE

Longueur : 0 m. 24.

Diamètre moyen : 0 m. 0010.

Pas de lacunes dans l'écorce.

Liber et bois épais.

Canaux résinifères très nets.

Une seule lacune au centre.

Rayons médullaires étroits.

Lignification intense des éléments.

Longueur : 0 m. 14.

Diamètre moyen : 0 m. 0005.

Des lacunes dans l'écorce.

Liber et bois minces.

Canaux résinifères non différenciés.

Plusieurs lacunes au centre.

Rayons médullaires larges.

Lignification faible des éléments.

FEUILLE PRIMORDIALE

Longueur de la feuille primordiale : 0 m. 027.

Épiderme bien cutinisé.

Liber épais.

Bois très développé et très lignifié.

Canaux résinifères bien formés.

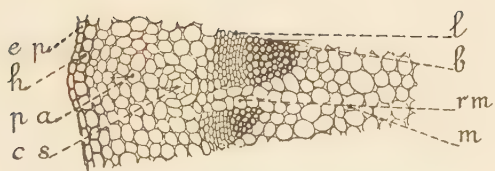
Longueur de la feuille primordiale : 0 m. 017.

Épiderme peu cutinisé.

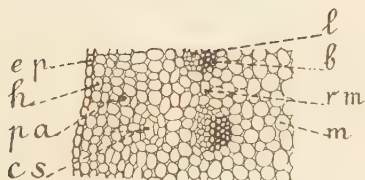
Liber mince.

Bois peu développé et peu lignifié.

Canaux résinifères non formés.



A



B

Fig. 38. — Tige de pin maritime, semis d'un an.

Secteur de coupe transversale,
Gr. = 125.

A. — Milieu siliceux avec chaux.

B. — Milieu siliceux sans chaux.

ep. — épiderme.

h. — hypoderme (sclérifié en milieu cal-

cique).

pa. — parenchyme cortical.

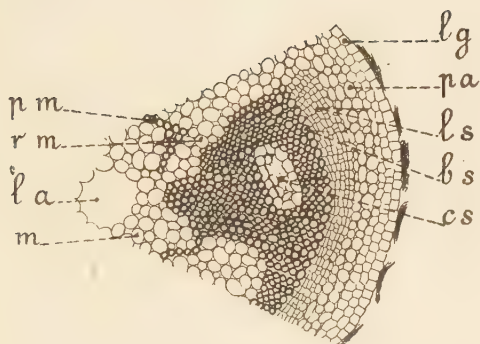
cs. — canal résinifère.

rm. — rayons médullaires.

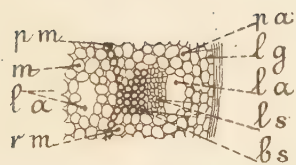
m. — moelle.

l. — liber.

b. — bois.



A



B

Fig. 39. — Racine de pin maritime (semis d'un an).

Secteur de coupe transversale.

Gr. = 125.

A. — Milieu siliceux avec chaux.

B. — Milieu siliceux sans chaux.

lg. — liège.
pa. — parenchyme cortical.
rm. — rayons médullaires.
la. — lacunes.
ls. — liber.

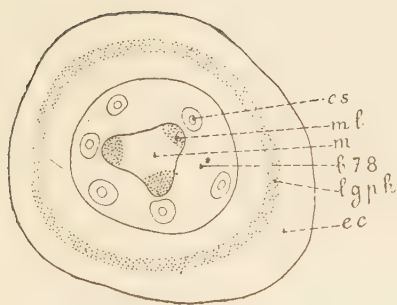
bs. — bois.
cs. — canal résinifère.
m. — moelle.
pm. — zone périmédullaire sclérifiée.

Anatomie de la tige de pin sylvestre

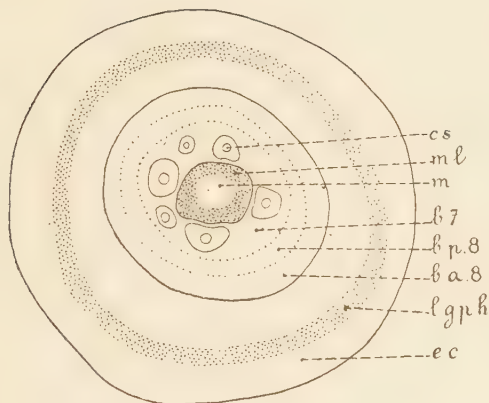
Maintenu en solution aqueuse (août 1907 à novembre 1908)

Dans les composés calciques	Dans l'eau distillée
Nombre des vaisseaux plus élevé.	Moins de vaisseaux.
Diamètre des éléments plus grand.	Diamètre moindre des éléments.
Distinction très nette entre le bois de printemps et le bois d'automne.	Pas de distinction précise entre le bois de printemps et le bois d'automne, et, par conséquent, influence saisonnière paraissant annulée.
Lignification importante de la moelle et des autres éléments ligneux.	Éléments ligneux, spécialement ceux de la moelle, moins lignifiés.
Manchon de parenchyme des canaux sécréteurs assez épais.	Manchon de parenchyme des canaux sécréteurs de moindre diamètre.

N. B. — *Dans la racine*, le nombre et le diamètre des éléments, ainsi que la lignification, sont également plus considérables en milieu calcique que dans l'eau distillée pure.



A



B

Fig. 40. — Pin sylvestre.

Coupes transversales (demi-schématiques).

Gr. = 100.

Cultures { A. — Dans l'eau distillée.
B. — Dans les composés calciques.

m. — moelle non lignifiée.
ml. — moelle lignifiée.
cs. — canal sécréteur avec gaine de parenchyme.
b.7.8. — bois de 1907 et 1908.

b.7. — bois de 1907.
bp.8. — bois de printemps 1908
ba.8. — bois d'automne 1908.
lgph. — liège et phelloderme.
ec. — écorce.

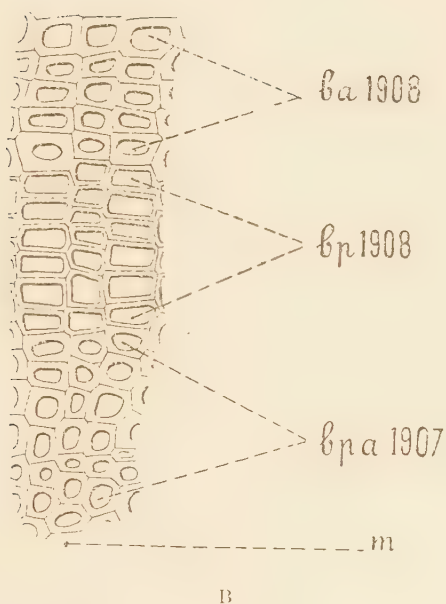
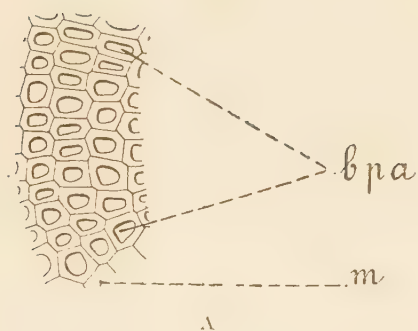


Fig. 41. — Pin sylvestre.

Fragments de coupes transversales.

G. = 330.

Cultures { A. — Dans l'eau distillée.
B. — Dans les composés calciques.

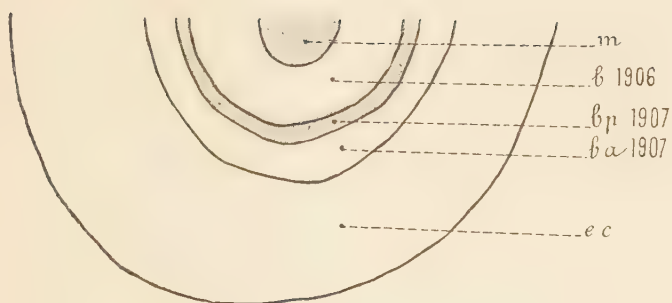
A {	<i>bpa.</i> — bois de printemps et d'automne 1908 et 1907. <i>m.</i> — moelle.		B {	<i>bpa.</i> — bois de printemps et d'automne 1907. <i>bp 1908.</i> — bois de printemps 1908. <i>ba 1908.</i> — bois d'automne 1908. <i>m.</i> — moelle.
-----	---	--	-----	--

Anatomie de la tige de sapin pectiné

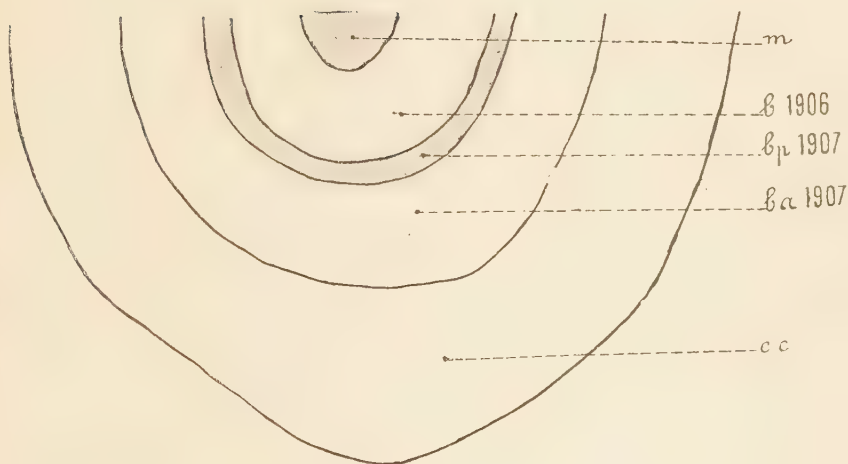
Maintenu en solution aqueuse (Juin 1906 à octobre 1907)

Dans les composés calchiques	Dans l'eau distillée
—	—
Vaisseaux en plus grand nombre.	Moins de vaisseaux.
Diamètre des vaisseaux plus grand.	Diamètre moindre des vaisseaux.
Lignification intense des éléments.	Lignification moins forte des éléments.
Rayons médullaires plus nombreux.	Rayons médullaires en moindre quantité.
Assise subéro-phellodermique bien marquée.	Assise subéro-phellodermique moins accentuée.
Distinction très nette entre le bois de printemps et le bois d'automne.	Distinction moins tranchée entre le bois de printemps et le bois d'automne.

N. B. — *Pour la racine*, mêmes remarques en ce qui concerne le nombre et le diamètre des éléments, ainsi que la lignification.



A



B

Fig. 42. — Sapin pectiné.

Sections transversales (demi-schématiques).

Gr. = 75.

Cultures { A. — Dans l'eau distillée.
B. — Dans les composés calciques.

m. — moelle.
b 1906. — bois 1906.
bp 1907. — bois de printemps 1907.

ba 1907. — bois d'automne 1907.
ec. — écorce.

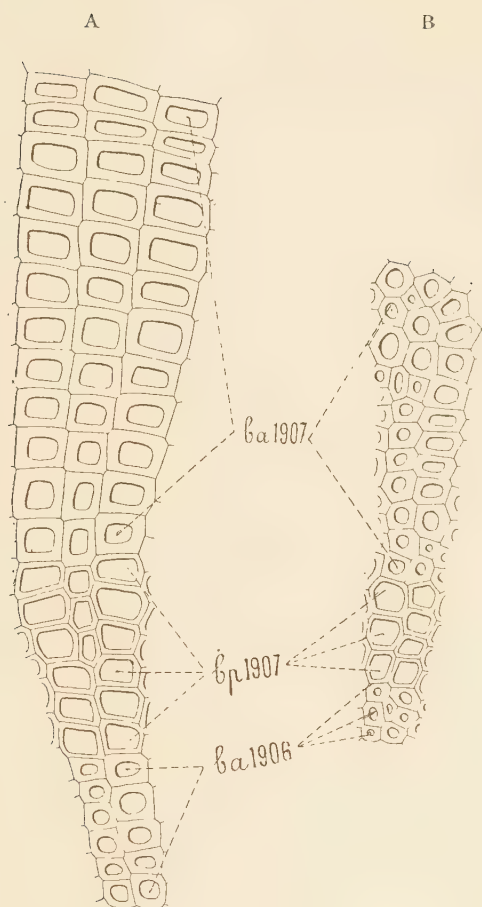


Fig. 43. — Sapin pectiné.

Fragments de coupes transversales.

Gr. = 330.

Cultures { A. — Dans les composés calciques.
B. — Dans l'eau distillée.

ba 1906. — bois d'automne 1906.

bp 1907. — bois de printemps 1907.

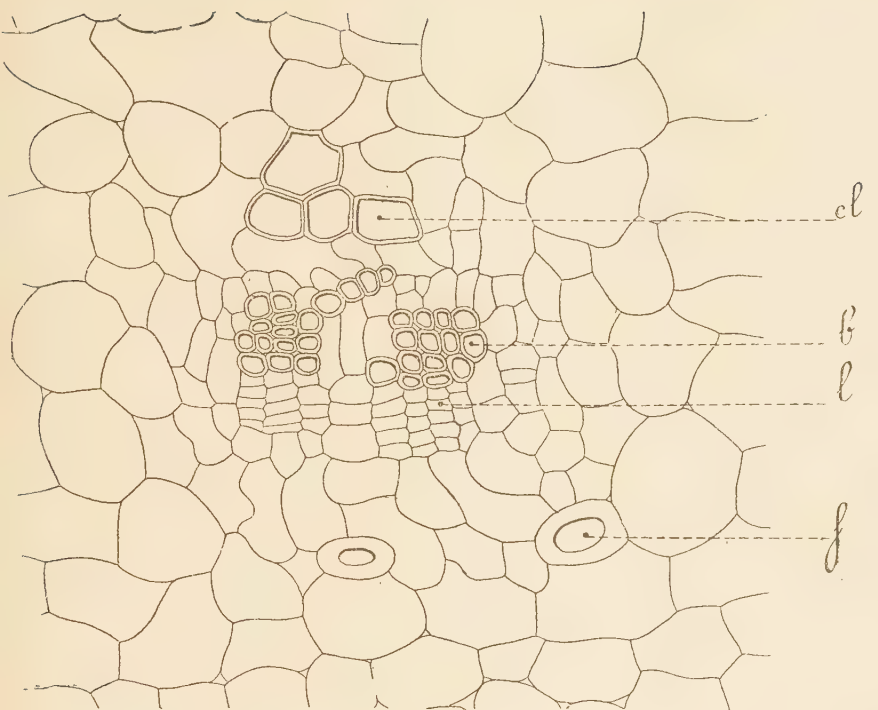
ba 1907. — bois d'automne 1907.

Anatomie de la feuille de sapin pectiné

En solution de sulfate de calcium	En solution de chlorure de potassium
Feuille bien développée mais jaunâtre.	Feuille également jaunâtre mais peu développée.
Péridesme bien lignifié.	Péridesme peu lignifié.
Tissu en palissade légèrement prononcé.	Pas de tissu en palissade.
Bois bien développé.	Bois peu développé.
Gaine protectrice des canaux sécréteurs bien marquée.	Gaine protectrice des canaux sécréteurs peu marquée.
Fibres à membranes lisses bien formées.	Fibres à membranes lisses non formées.

N. B. — Le plant élevé en solution de *superphosphate* possède des feuilles très bien développées et de coloration verte absolument normale; le tissu en palissade est parfaitement marqué, avec une assise bien nette.

Si l'on examine le plant mis dans l'eau *distillée pure*, on voit des feuilles encore plus réduites et plus pâles que dans le chlorure de potassium, avec différenciation rudimentaire des éléments.



A



B

Fig. 44. — Sapin pectiné, feuille, (cylindre central.)

Gr. = 500.

A. — En milieu calcique.

B. — En milieu potassique.

b. bois.
l. — liber.

| cl. — cellules lignifiées.
f. — fibres à membranes lisses.

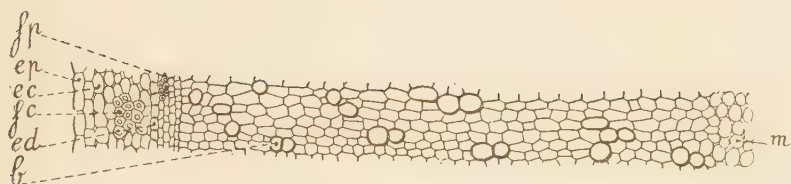
EXPÉRIENCE DE COMPARAISON

Anatomie de la tige de chanvre

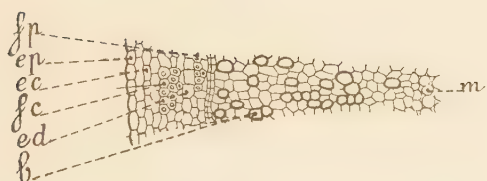
Le chanvre n'est pas une essence forestière et se trouve en dehors du cadre de nos recherches; mais, par ses fibres, il est sujet à une lignification remarquable; il était donc intéressant de rechercher pour cette espèce l'action du potassium. Nous avons indiqué que cette expérience, conduite au Museum par M. Roux, venait confirmer les résultats de nos observations.

Chanvre sans potassium (Engrais n° 4)	Chanvre avec potassium (sans phosphore) (Engrais n° 3)
Bois très épais.	Bois peu épais.
Vaisseaux larges.	Vaisseaux étroits.
Éléments ligneux bien disposés en lignes radiales.	Éléments ligneux moins régulièrement disposés en lignes radiales.
Méristème secondaire abondant.	Méristème secondaire moindre.
Fibres corticales et péricycliques épaisses.	Fibres corticales et péricycli- ques un peu moins épaisses.
Lignification intense des élé- ments.	Lignification plus faible des élé- ments.

N. B. — Dans la racine, également, le bois est plus épais, les vaisseaux plus larges, la lignification plus intense dans le milieu sans potassium que dans le milieu potassique.



A



B

Fig. 45. — Tige de chanvre.

Fragments de coupes transversales.

Gr. = 125.

A. — Engrais sans potassium.

B. — Engrais avec potassium (sans phosphore).

ep. — épiderme.

ec. — écorce.

fc. — fibres corticales.

ed. — endoderme.

fp. — fibres péricycliques.

b. — bois.

m. — moelle.

LAURIER-ROSE

Anatomie de la racine développée sur la bouture

(Après 1 mois)

En solution de sulfate de calcium.	En solution de sulfate de potassium.
Racine fine et allongée, de faible diamètre.	Racine courte et ramassée, de diamètre beaucoup plus grand.
Un axe de symétrie.	Un plan de symétrie.
5 faisceaux ligneux et 5 faisceaux libériens.	6 faisceaux ligneux et 6 faisceaux libériens.
Assise subéreuse proportionnellement mieux développée.	Assise subéreuse proportionnellement moins développée.
Endoderme et péricycle très nets, mais d'abord peu lignifiés.	Endoderme et péricycle moins nets, mais d'abord plus lignifiés.
Pas de métaxylème ni de bois secondaire.	Du métaxylème et du bois secondaire.
Disposition radiale des cellules du parenchyme de l'écorce très marquée.	Disposition radiale des cellules du parenchyme de l'écorce moins accentuée.
Lignification des éléments généralement faible.	Lignification des éléments généralement plus forte.

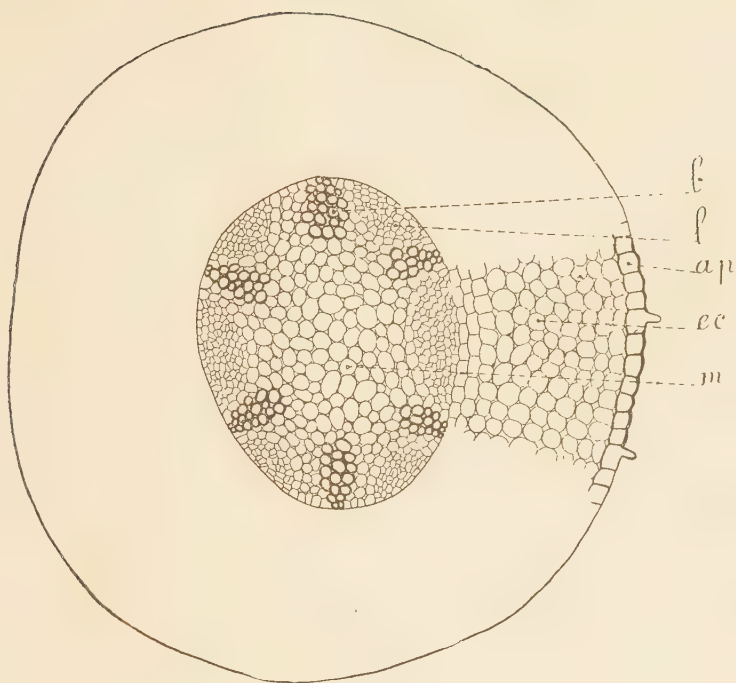


Fig. 46. — Boutures de Laurier-rose.

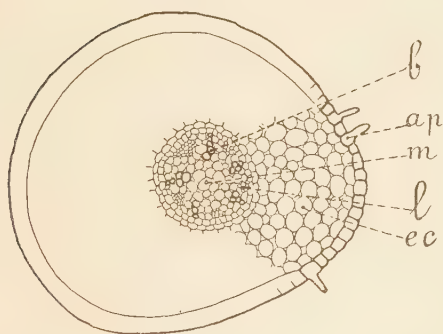
Racines, grandeur naturelle après un mois.

A. — Dans le sulfate de chaux.

B. — Dans le sulfate de potasse.



A



B

Fig. 47. — Boutures de Laurier-rose.

Coupe transversale de racine âgée d'un mois.

Gr. = 125.

Cultures { A. — Dans le sulfate de potasse.
B. — Dans le sulfate de chaux.

b. — bois.
l. — liber.
ap. — assise pilifère.

ec. — écorce.
m. — moelle.

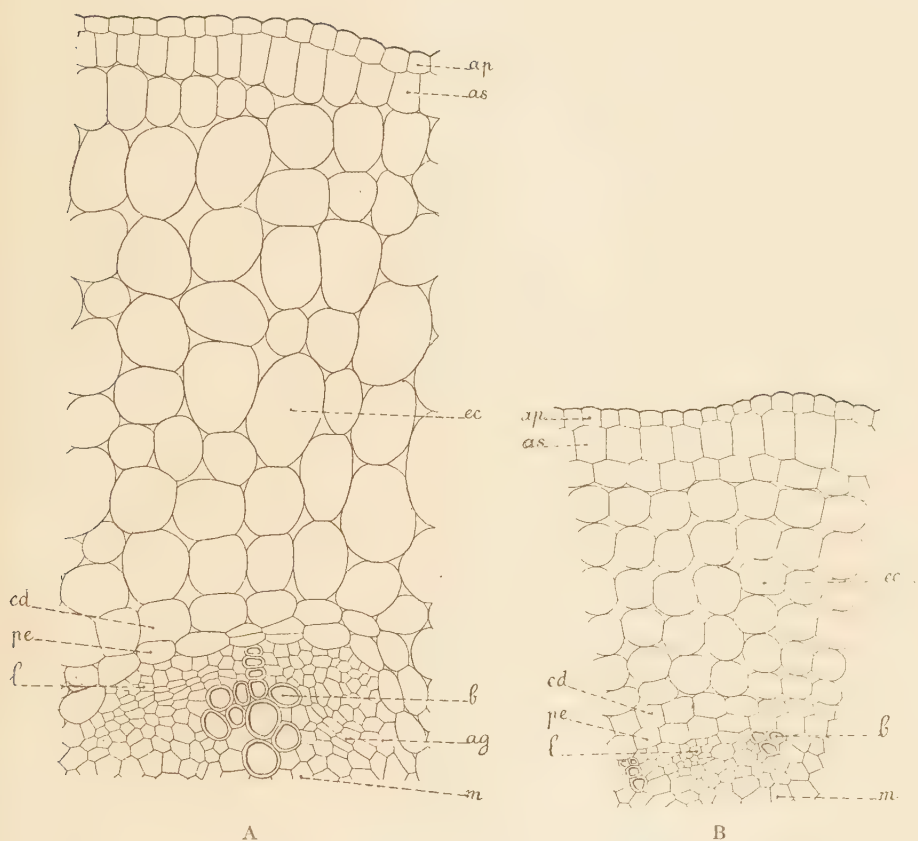


Fig. 48. — Bouture de Laurier-rose.

Fragment de coupe transversale de racine âgée d'un mois.

Gr. = 330.

Cultures { A. Dans le sulfate de potasse.
B. Dans le sulfate de chaux.

b. — bois.
l. — liber.
pe. — péricycle.
ed. — endoderme.
ec. — écorce.

m. — moelle.
as. — assise subéreuse.
ap. — assise pilifère.
ag. — assise génératrice libéro-ligneuse
(ébauchée).

Anatomie du rameau de laurier-rose

(Développement de bourgeon sur bouture)

En solution d'engrais calciques	En eau distillée
Une couche continue de bois.	Une couche discontinue de bois.
Des vaisseaux nombreux bien lignifiés.	Vaisseaux lignifiés en petit nombre.
Diamètre des vaisseaux plus grand.	Diamètre des vaisseaux moindre.
Lignification des éléments très forte.	Lignification très faible des éléments.
Liber très développé et très différencié.	Liber moins développé et moins différencié.
Fibres péricycliques bien différenciées.	Fibres péricycliques non différenciées.
Assise génératricelibéro-ligneuse ayant bien fonctionné.	Assise génératrice ayant à peine fonctionné.
Collenchyme sous-épidermique très net.	Collenchyme sous-épidermique non visible.
Épiderme à cuticule très marquée.	Épiderme à cuticule moins accentuée.
En résumé, augmentation et développement considérable de l'appareil de soutien.	En résumé, appareil de soutien moins développé.

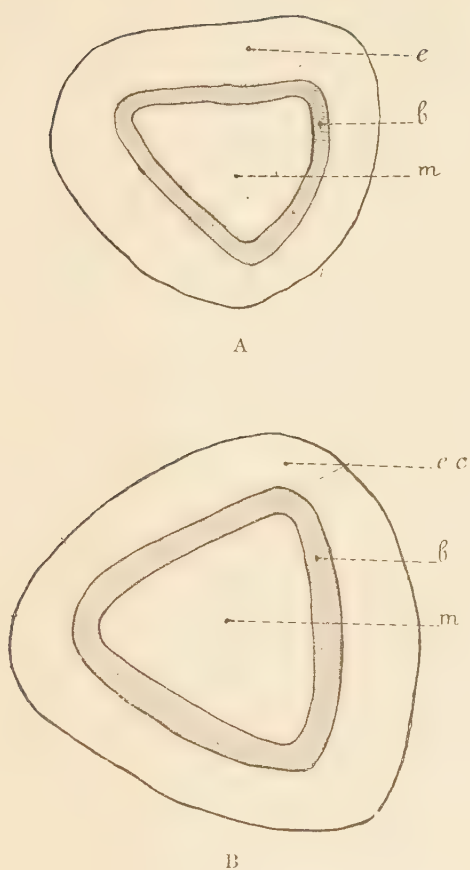


Fig. 49. — Laurier-rose.

Rameau d'une saison.

Sections transversales (demi-schématiques).

Gr. = 75.

Cultures { A. — Dans l'eau distillée.
B. — Dans les composés calciques.

ec. — écorce.

b. — bois.

m. — moelle.

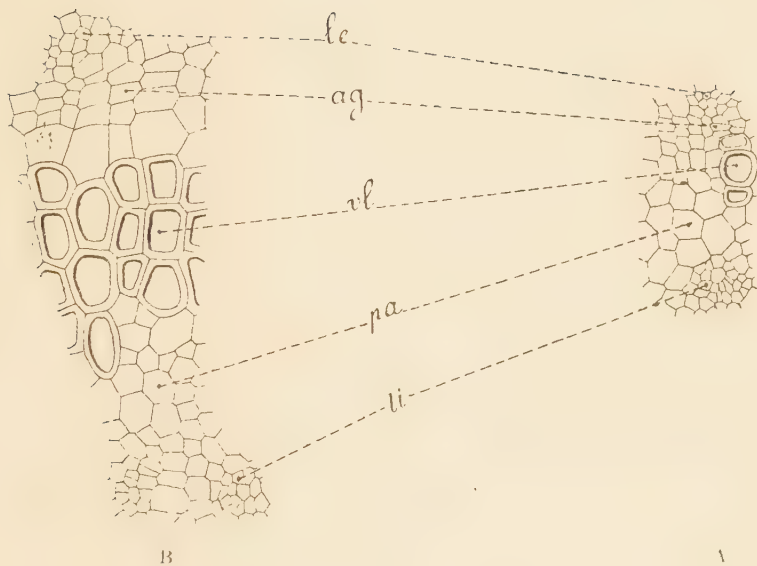


Fig. 50. — Rameau de Laurier-rose.

Fragments de coupes transversales.

Gr. = 330.

Cultures { A. — Dans l'eau distillée.
B. — Dans les composés calciques.

le. — liber externe.

ag. — assise génératrice libéro-ligneuse.

vl. — vaisseaux lignifiés.

li. — liber interne.

pa. — parenchyme non lignifié.

SAULE-OSIER

Anatomie de la racine développée sur la bouture

(Après 1 mois)

En solution de sulfate de calcium.

Racine allongée et d'un faible diamètre.

Subérification de l'assise pilifère et de l'assise subéreuse faible.

Écorce très peu lacuneuse.

Écorce peu épaisse.

Assise extérieure de l'écorce non subérifiée.

Endoderme et moelle d'abord non lignifiés.

Péricycle non lignifié.

3 faisceaux ligneux et 3 faisceaux libériens.

Pas de métaxylème.

Lignification faible tout d'abord pour tous les éléments en général.

En solution de sulfate de potassium.

Racine courte et d'un diamètre plus grand.

Subérification de l'assise pilifère et de l'assise subéreuse forte.

Écorce plus lacuneuse.

Écorce beaucoup plus épaisse.

Assise extérieure de l'écorce subérifiée.

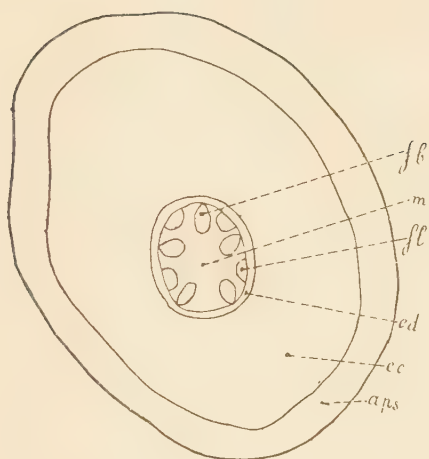
Endoderme et moelle vite lignifiés.

Péricycle partiellement lignifié.

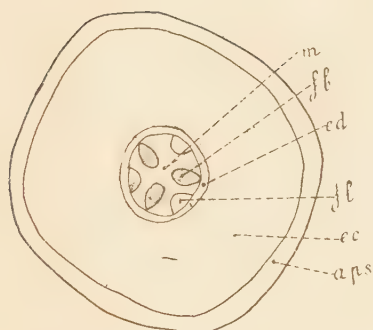
5 faisceaux ligneux et 5 faisceaux libériens.

Du métaxylème.

Lignification plus rapide pour tous les éléments en général.



A



B

Fig. 51. — Bouture d'Osier.

Racine d'un mois.

Coupes transversales, demi-schématiques.

A. — Milieu potassique.

B. — Milieu calcique.

Gr. = 66.

fb. — faisceaux du bois.
fl. — faisceaux du liber.
m. — moelle.

ed. — endoderme.
ec. — écorce.
aps. — assises subéreuses et pilifères.

EXPÉRIENCE DE COMPARAISON

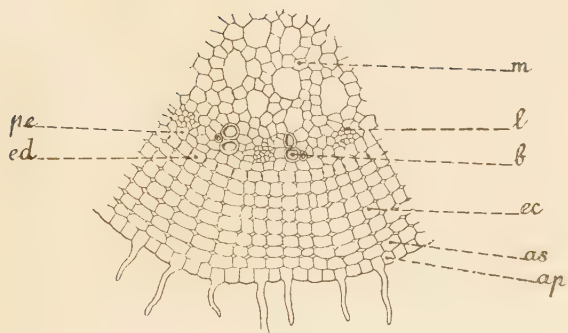
Tradescantia.

Anatomie de la racine développée sur la bouture,

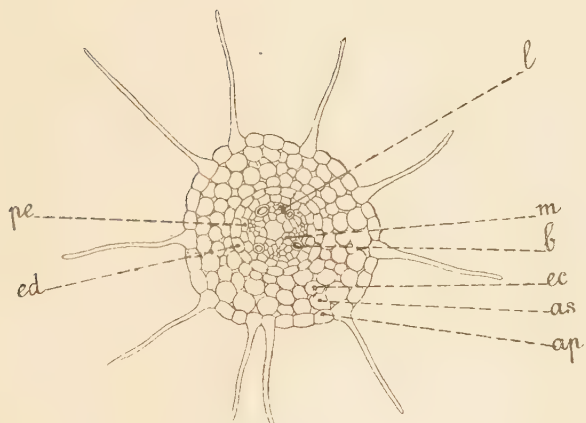
(Après 15 jours.)

Le tradescantia ne saurait être classé parmi les essences ligneuses; mais en raison de sa facilité de bouturage en milieu aqueux, il donne un moyen rapide de comparer l'action de nos divers engrais minéraux; c'est à ce titre que nous l'avons employé dans nos essais.

Racine en solution de sulfate de calcium.	Racine en solution de sulfate de potassium.
Racine très allongée et de diamètre très petit.	Racine courte et d'un diamètre plus grand.
Lacune de la moelle souvent unique.	Généralement plusieurs lacunes dans la moelle.
Peu de faisceaux ligneux et libériens (généralement 4).	Faisceaux ligneux et libériens plus nombreux.
Assise subéreuse à grandes cellules.	Assise subéreuse à cellules plus petites.
Poils de l'assise pilifère très longs.	Poils de l'assise pilifère assez courts.
Souvent un seul vaisseau pour un faisceau ligneux.	Le plus souvent plusieurs vaisseaux dans chaque faisceau ligneux.
Endoderme et péricycle à cellules petites.	Endoderme et péricycle à cellules plus grandes.
Lignification des éléments moins accentuée.	Lignification des éléments plus prononcée.



A



B

Fig. 52. — Racines de Tradescantia.

Sections transversales.

Gr. = 125.

Cultures { A. — Dans le sulfate de potasse.
B. — Dans le sulfate de chaux.

m. — moelle.
b. — bois.
l. — liber.
pe. — péricycle.

ed. — endoderme.
ec. — écorce.
as. — assise subéreuse.
ap. — assise pilifère.

X. — LES SUBSTANCES DE RÉSERVE ET D'ÉLIMINATION DANS LES VÉGÉTAUX LIGNEUX

AMIDON

L'amidon constitue la principale substance de réserve des végétaux ligneux. On le trouve dans tous les parenchymes de la tige et de la racine. Il se montre sous autant de formes différentes qu'il y a d'espèces végétales ; et, dans la même espèce, il diffère suivant qu'on l'examine dans la moelle et dans les autres tissus. La quantité varie avec la saison.

L'amidon apparaît au printemps dans les parenchymes ligneux, dans la moelle spécialement quand il s'agit d'un végétal jeune, devient plus abondant en été, et atteint son maximum dès l'automne ; M. Mer a observé qu'il y a résorption à la fin de l'automne, et à nouveau genèse au mois de mars, l'hiver étant la saison où la réserve amylacée est à son minimum. C'est aussi ce que nous avons constaté.

La nature du sol influe sur l'époque de son apparition. Ainsi, dans les sols secs, on le voit se produire plus vite et en plus grande quantité que dans les sols humides.

Les engrais minéraux ont une action sur la production de cette importante substance de réserve. *Les composés potas-*

siques hâtent la formation de l'amidon, de même qu'ils ont pour résultat d'amener plus rapidement la mise à fruits des végétaux. On peut même dire qu'ils avancent la mise à fruits parce qu'ils accélèrent la constitution de l'amidon. Il y a entre les deux phénomènes production de l'amidon et mise à fruits une corrélation remarquable.

D'ailleurs, dans tous les cas où doit se constituer de l'amidon, le potassium semble être le stimulant de choix ; on sait que, pour la production des tubercules et notamment des pommes de terre, les engrais potassiques donnent les meilleurs rendements.

Ces résultats concordent avec les recherches de *M. Goumy* qui a trouvé *l'amidon plus abondant dans les rameaux à fruits que dans les rameaux à bois.*

Il semble que le végétal ligneux, qui souffre dans un sol contenant un excès de potassium, cherche à lutter contre la disparition de son espèce en se mettant plus vite à fruits.

Il en est d'ailleurs ainsi quand on diminue la vitalité d'un végétal ligneux par des mutilations, et notamment par la taille, qui n'est pas autre chose qu'une mutilation destinée à amener la fructification maxima.

OXALATE DE CALCIUM

Certaines cellules végétales produisent de l'acide oxalique ; en présence des sels de calcium, si répandus dans tous les tissus des végétaux ligneux, cet acide forme de l'oxalate de calcium : telle est l'origine de ce produit d'élimination.

On le trouve surtout dans l'écorce et particulièrement dans le liber.

Son accroissement à mesure qu'on avance en saison suit

la même marche que l'amidon. Il augmente de mai en octobre. Mais il existe déjà en assez grande quantité, alors que l'amidon commence à peine à se former. Il semble en corrélation avec le travail de prolifération cellulaire plutôt qu'avec la production de l'amidon. Il apparaît plus vite dans les végétaux ligneux traités par les engrais potassiques, mais finalement en moins grande abondance que dans ceux qui sont traités par les composés calciques.

TANIN

On trouve dans les végétaux ligneux de nombreux glucosides, par exemple :

La *salicine* dans la tige du saule ;

La *phlorizine* dans les écorces des fruitiers ;

L'*esculine* dans la tige du marronnier ;

La *coniférine* dans le sapin et divers conifères ;

La *fraxine* dans le frêne.

Mais parmi les glucosides le plus remarquable chez les végétaux forestiers est le *tanin*.

Il constitue dans les écorces des taillis de chênes un important produit.

On le rencontre dissous dans le suc cellulaire, ou bien sous forme de petits amas intra-cellulaires, comme dans les écorces de chêne, de peuplier, de bouleau.

Si, dans les fruits, le tanin peut être considéré comme produit de réserve, puisqu'il s'y transforme en glucose, il est un produit d'élimination dans les écorces et le jeune bois des végétaux ligneux. On le voit en quantité maxima en été, en plus grande abondance encore dans le chêne rouvre que dans le chêne pédonculé ; il forme environ le quart du

poids des noix de galle, excroissances sphériques résultant des piqûres des cynips sur le chêne.

On constate que ce sont les jeunes chênes à écorce lisse, c'est-à-dire en meilleur état de végétation, qui fournissent les plus grandes masses de tanin ; ce sont donc les engrais qui amènent la plus belle végétation, c'est-à-dire les *engrais calciques*, qui donneront les plus importantes quantités de tanin.

RÉSINE

Ce sont également les composés calciques qui, donnant aux végétaux forestiers la plus grande résistance, permettent aussi d'obtenir, chez les conifères gemmés, la plus grande production de résine.

AUTRES PRODUITS

De nombreux produits, autres que ceux précédemment indiqués, peuvent se trouver dans les végétaux ligneux.

Nous citerons :

L'*asparagine*, composé azoté qui se forme souvent dans un organe détaché d'une plante, dans une pousse vivant aux dépens de ses réserves ;

Le *saccharose*, que l'on reconnaît dans la tige des érables ;

Le *mélitose* dans les eucalyptus ;

Le *mélézitose* dans le mélèze ;

Le *mannitose* dans le frêne ;

Les *mannites* dans l'érable, dans l'olivier ;

La *dulcite* dans le fusain ;

La *sorbite* dans le sorbier ;

La *pinite* dans les pins ;

La *quercite* dans les chênes ;

Et, dans les graines :

L'*aleurone* (vigne, laurier, bourdaine...).

Les *corps gras* (olivier, noyer, hêtre, coudrier...).

Les engrais organiques et minéraux ont une influence certaine dans la formation de ces corps, les uns par leur action sur le travail de prolifération cellulaire et l'activité végétative, les autres par leur action sur la mise à fruits.

XI. — NOTIONS RELATIVES AUX MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES DANS LES MILIEUX MINÉRAUX

M. Gaston Bonnier a démontré que les fonctions physiologiques des plantes sont en corrélation avec leur constitution histologique.

Ainsi, dans la généralité des cas, « une épaisseur plus considérable du tissu chlorophyllien, des cellules mieux disposées perpendiculairement au limbe de la feuille et contenant chacune un plus grand nombre de grains de chlorophylle, des grains de chlorophylle ayant chacun une teinte plus intense » donneront une assimilation chlorophyllienne et une chlorovaporisation plus grandes par unité de surface.

Les feuilles, dont le tissu en palissade est plus développé, dégagent plus d'oxygène. Il faut tenir compte aussi de la plus ou moins grande masse totale de chlorophylle contenue dans chacune de ces cellules. C'est la plus grande masse totale de chlorophylle qui doit dégager la plus grande quantité d'oxygène.

De la structure des végétaux ligneux on peut donc déduire que *dans le milieu calcique (sulfate de chaux, superphosphate, scories) on doit trouver une assimilation chlorophyllienne et une chlorovaporisation plus considérables que dans le milieu potassique (chlorure de potassium, sulfate de potasse).*

Quant à la *transpiration* des végétaux ligneux, la simple observation des phénomènes, qui se passent dans nos cultures en milieux aqueux, démontre que l'absorption de liquide est d'autant plus grande que la vie est plus intense ; il en est ainsi en *milieu calcique* (*sulfate de chaux surtout, et superphosphate de chaux*).

Par suite, *cette transpiration* est nécessairement *plus considérable dans ce milieu calcique* ; il en est de même de la *respiration*. La vie végétale ligneuse en milieu potassique apparaît comme une sorte d'existence ralentie, et, en quelque manière, pathologique.

XII. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1° INFLUENCE DES ENGRAIS SUR LA STRUCTURE DES VÉGÉTAUX LIGNEUX

Les différences anatomiques sont particulièrement frappantes dans les milieux *calciques* et dans les milieux *potassiques*.

Le sulfate de calcium à des doses quelconques, soit en milieu aqueux, soit en sol artificiel ou naturel, les phosphates et superphosphates de chaux, à la dose de 0 gr. 50 à 2 grammes par litre en milieu aqueux et jusqu'à 5.000 kilogrammes à l'hectare, en sol artificiel ou naturel, ou bien en arrosages à 2 grammes pour 1.000 grammes, la chaux, les scories, le carbonate de calcium, dans les mêmes proportions, ont constitué nos principaux milieux de calcium, avec ou sans phosphore.

Abstraction faite des milieux azotés (nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque), nettement toxiques aux doses couramment employées, les sulfate, carbonate et chlorure de potassium et la kaïnite, expérimentés dans les mêmes proportions que les sels calciques, ont formé les milieux potassiques que nous avons étudiés.

Ceci étant posé, il résulte de nos expériences que nous pouvons, au point de vue de la structure des végétaux ligneux, formuler les conclusions suivantes :

Le milieu calcique produit des vaisseaux plus larges, des cellules de parenchyme et des fibres plus abondantes et plus épaisses que le milieu potassique, ou le milieu dépourvu de composés calciques.

Les composés du calcium donnent aux éléments de la tige, de la racine et de la feuille une *lignification plus intense* que les composés du potassium; ils tendent à disposer les vaisseaux plus particulièrement en *lignes radiales*, ce qui favorise l'élasticité du bois; ils augmentent très notablement *le développement du cylindre central* par rapport à l'écorce, ce qui, d'après M. Dubard, est un criterium de perfection pour la différenciation.

Dans les rejets, chez les feuillus, la lignification peut être plus tardive dans le milieu calcique; mais finalement, après la période de végétation, elle est plus complète.

Dans l'écorce des feuillus, les sels calciques amènent *la division en îlots des fibres libériennes*, tandis que ces fibres forment dans les sels potassiques un anneau continu, et sont moins épaisses.

La masse de bois produite annuellement est beaucoup *plus considérable avec les engrais calciques* qu'avec les engrais potassiques; elle est généralement double dans le jeune âge.

La moelle est généralement plus épaisse et plus lignifiée avec le calcium qu'avec le potassium.

Chez les feuillus qui possèdent des lenticelles, comme le bouleau, ces lenticelles sont beaucoup plus nombreuses et régulières, et indiquent une vie bien plus intense dans les composés calciques que dans les composés potassiques.

Si, chez les résineux, nous examinons la feuille primordiale, nous constatons qu'elle a des dimensions bien moindres, et un massif de bois plus mince et moins lignifié dans le potassium que dans le calcium.

Mais il n'est pas indifférent de fournir à la plante le calcium sous une forme quelconque.

Si nous observons, en eau distillée, deux rejets de chênes poussés l'un dans le sulfate de chaux, l'autre dans la chaux, nous constatons que le premier possède une lignification plus intense, des vaisseaux plus larges et plus épais, des fibres libériennes plus épaisses, et du liège plus net. De plus, la feuille produite sur le rejet de la chaux est plus petite, moins différenciée, à vaisseaux moins larges et moins épais, à bois secondaire et fibres libériennes plus minces, à tissu palissadique moins prononcé, à tissu cortical moins épais dans sa nervure principale.

La diversité de différenciation entre le milieu calcique et le milieu potassique est bien mise en évidence par l'anatomie de la feuille de sapin pectiné obtenue dans chacun de ces milieux, en solutions aqueuses :

On reconnaît que le sulfate de calcium (ainsique le superphosphate) a donné une feuille normale, à périderme bien lignifié, à gaine protectrice du canal sécréteur bien prononcée, à bois très développé, à tissu palissadique marqué.

Ce n'est pas seulement par comparaison avec le potassium que nous avons étudié le rôle du calcium.

Nos cultures du pin maritime en *milieu siliceux pur*, et en *milieu siliceux mélangé de composés calciques*, démontrent que les tiges, racines et feuilles ont des dimensions plus grandes *par le fait du calcium*. La tige y acquiert un *hypoderme plus sclérifié*, un *liber et un bois plus épais*, un *épi-*

derme à cuticule plus épaisse et une lignification plus intense des éléments.

La racine possède, dans le calcium, un liber et un bois plus épais, des canaux résinifères plus apparents, une lignification également plus intense.

La feuille y a aussi son épiderme mieux cutinisé, son liber plus épais, son bois mieux développé et mieux lignifié, ses canaux résinifères plus différenciés.

Nos études sur les bouturages des végétaux ligneux en eau distillée viennent montrer encore les différences anatomiques produites dans le végétal ligneux par les deux milieux calcique et potassique.

Mais ici ces différences anatomiques ne sont plus de même ordre.

Le rôle retardateur du milieu potassique, le rôle accélérateur du milieu calcique se traduisent tout d'abord par des phénomènes complètement différents.

La racine influencée par le *potassium* est beaucoup *plus courte, plus épaisse, à faisceaux ligneux et libériens plus nombreux, à écorce plus épaisse, A MÉTAXYLÈNE PLUS DÉVELOPPÉ*, avec une subérification plus forte de l'assise pilifère et de l'assise subéreuse, une moelle, un endoderme, un péricycle bien plus vite différenciés et lignifiés, et, en résumé, *une lignification de tous les éléments beaucoup plus rapide.*

Dans le milieu potassique, défavorable, la racine doit se mettre immédiatement en état de défense, et sa constitution s'organise en conséquence.

Les engrais phosphatés, que nous avons employés, sont combinés au calcium et agissent anatomiquement dans le même sens que les composés calciques proprement dits.

Les conclusions que nous venons d'indiquer s'expliquent par les faits observés en chimie végétale.

Si l'on examine les tissus végétaux au point de vue chimique, l'action du calcium sur la végétation ligneuse se conçoit parfaitement.

Ainsi, le bois des conifères est composé chimiquement de cellulose, de composés pectiques, de lignine, de callose et de sels minéraux divers. En particulier, la lame moyenne des membranes cellulaires est formée presque uniquement de *pectate de calcium*, ainsi que l'a démontré M. Mangin.

C'est le pectate de calcium qui constitue finalement la substance intercellulaire.

Faisons, en effet, bouillir pendant un quart d'heure environ des coupes de bois de conifères dans de l'eau distillée et acidulée par l'acide chlorhydrique ; traitons ensuite ces coupes par une solution aqueuse au 5000^e de rouge de ruthénium (oxychlorure ammoniacal de ruthénium).

Nous constatons que la substance intercellulaire se colore en rouge.

C'est que l'acide chlorhydrique a décomposé le pectate de calcium constituant la lame intercellulaire ; il a formé du chlorure de calcium soluble, et il a isolé l'acide pectique insoluble, qui a pris le rouge de ruthénium.

Dès lors le rôle capital joué dans la végétation ligneuse et dans la formation du bois par le *calcium* est un fait nécessaire.

Ebermayer a mis en évidence, *a priori*, l'importance du calcium dans la végétation ligneuse par l'analyse directe du bois ; il a démontré que les bois contiennent *beaucoup plus de calcium que de potassium* avec très peu de phosphore, et que les végétaux forestiers emploient pour leur organisation annuelle bien plus de calcium que les végétaux agricoles. Les feuilles et l'écorce, particulièrement, se chargent de silicium et de calcium.

Le fait est surtout sensible pour les jeunes plants forestiers, chez lesquels la proportion de calcium est considérablement plus grande que dans les bois âgés.

On voit quelles indications importantes découlent de ces constatations pour la réussite des reboisements.

Les végétaux forestiers employant très peu de potassium, très peu de phosphore, assimilant souvent directement l'azote au moyen de leurs organismes symbiotiques, on reconnaît que *c'est au calcium qu'il faut s'adresser pour favoriser leur végétation.*

2° APPLICATIONS PRATIQUES

Dans toutes nos expériences sur les semis, les repiquages, les recépages, les bouturages, ce sont les mêmes corps qui ont constamment le mieux réussi.

Parmi les *engrais organiques*, le *fumier de ferme* ordinaire donne la plus belle végétation ligneuse ; mais il faut l'employer à doses encombrantes ; et, à ce titre, il n'est guère applicable dans les reboisements, en dehors des pépinières.

Les *engrais minéraux azotés*, *nitrate de soude*, *sulfate d'ammoniaque*, sont dangereux à manier en sylviculture, dans tous les cas.

D'ailleurs les arbres forestiers ne demandent pas beaucoup d'azote. Certains d'entre eux empruntent immédiatement à l'immense réservoir atmosphérique l'azote dont ils ont besoin et le fixent directement, comme le robinier et l'aune, par les bactéroïdes de leurs nodosités radiculaires.

Les *engrais potassiques*, *sulfate*, *carbonate* et *chlorure de potassium*, *kainite*, sont des *ralentisseurs* de la végétation ligneuse.

M. Grandeau a reconnu l'action toxique des sels de potassium, même en physiologie animale, quand il a fait ses belles expériences démontrant que *l'isomorphisme physiologique* n'existe ni chez les plantes, ni chez les animaux, et que, par exemple, le potassium et le rubidium, parfaitement isomorphes, ont cependant une action physiologique absolument différente.

Dans quelle proportion les sels potassiques peuvent-ils ralentir la végétation ligneuse ?

Nous avons vu, dans nos expériences, que c'est à peu près dans la proportion de moitié comparativement aux sels calciques, chez les jeunes plants.

Ainsi, le poids sec d'un plant de bouleau de trois ans dans un terrain calcique sera de 640 grammes, et, dans un terrain potassique, de 325 grammes.

Le poids sec d'un chêne sera, dans le premier cas, à deux ans, de 30 grammes, dans le deuxième cas de 16 grammes.

Le poids sec d'un jeune semis de pin maritime d'un an sera de 1 gr. 60 dans le sol du calcium, de 0 gr. 70 dans le sol du potassium.

Donc, puisqu'il y a toujours assez de potassium dans un sol de forêt, les engrais potassiques ne doivent pas être donnés aux végétaux forestiers, en général.

Est-ce à dire que cette règle ne souffre jamais d'exception ?

Il est un cas, dans la pratique sylvicole, où les composés potassiques peuvent rendre les plus grands services : c'est lorsque, dans un peuplement forestier, on veut faire une coupe d'ensemencement, et obtenir rapidement *la mise à fruits* des arbres.

Nous avons démontré le fait par une expérience directe.

Ceci est d'autant plus important pour le chêne, l'arbre forestier par excellence, que cette essence ne fournit des

glandées qu'à de longues années d'intervalle ; dès lors, il est précieux d'avoir un moyen d'accélérer la mise à fruits : ce moyen, c'est le *potassium*, employé à doses modérées, de manière à ne pas tuer le végétal ligneux.

Les engrais calciques sont les vrais accélérateurs de la végétation ligneuse.

Ils ne constituent évidemment pas un aliment complet ; mais ils jouent le rôle de stimulants par excellence.

Parmi eux, il faut placer en première ligne le *sulfate de calcium*, puis la *chaux*, et le *carbonate de calcium*.

On doit leur adjoindre les *engrais minéraux phosphatés : phosphates de calcium, superphosphates, scories* ; car ceux-ci contiennent tous du calcium en très grande proportion, et on ne peut séparer l'action de ce dernier corps de celle du phosphore.

Le *sulfate de calcium* n'est jamais dangereux pour les plantes, à quelque dose qu'on l'emploie, et produit les résultats les plus remarquables dans la végétation ligneuse ; nos expériences le démontrent.

Knop a bien reconnu les bons effets de cette substance : pour les essais de culture dans l'eau, il recommande, avant de placer les graines dans le germe, de les laisser gonfler par un séjour de douze à vingt-quatre heures dans un mélange d'une partie de sulfate de calcium et trois parties d'eau.

Il est à noter que le sulfate de calcium préserve les liquides de la pourriture et des microorganismes destructeurs.

Les cultures en eau distillée, chargée de plâtre, se conservent parfaitement ; nous avons une bouture de laurier-rose âgée de plus de trois ans et qui ne présente aucune trace d'altération quelconque.

Mis dans une solution de sulfate de calcium, le végétal ligneux absorbe beaucoup plus de liquide que dans toute autre solution, et manifeste *une vie intense*. L'étude de ces absorptions si variables avec le corps en expérience constituerait un ordre de recherches des plus intéressantes, en rapport avec la vitalité du protoplasma végétal.

Comment le plâtre agit-il et favorise-t-il la végétation ligneuse ?

D'après Dehérain, quand on ajoute à un sol du sulfate de calcium, on provoque la formation de sulfate de potassium. Ce sulfate de potassium formerait, avec le carbonate de calcium englobant la matière humique, du carbonate de potassium la dissolvant. Le sulfate de calcium détruirait donc l'adhérence de la potasse au sol et lui rendrait le pouvoir de dissoudre les matières humiques favorables à la végétation. Dehérain en conclut qu'on peut substituer au plâtre le sulfate de potasse.

M. Dassonville pense aussi que le plâtre mobilise la potasse, et l'entraîne dans les profondeurs du sol à l'état de sulfate de potasse, qui se transforme en carbonate et agit par sa base.

D'autres agronomes soutiennent que le sulfate de calcium agit en activant la nitrification.

Ces explications ne peuvent s'appliquer à la *végétation ligneuse* puisque *l'action des nitrates et surtout des sels potassiques est nettement toxique aux doses courantes*.

Il est plus logique d'admettre que le sulfate de calcium agit comme *stimulant chimique* et comme *fournisseur de calcium*, à un état tel qu'il peut facilement constituer le *pectate* de calcium nécessaire aux membranes cellulaires du bois.

Le sulfate de calcium peut s'employer sans limite de quan-

tité : il favorise les semis, les repiquages, les rejets, les bouturages, chez tous les végétaux ligneux. Dans certains cas, *chez les jeunes plants, il double la production ligneuse.*

Des plants qui, transportés par les temps chauds, risquent de « s'échauffer », sont revivifiés si on les trempe dans une solution de plâtre ; ils reprennent beaucoup mieux ; avant même de les expédier, il serait excellent de les faire passer dans cette solution plâtrée.

Le sulfate de calcium, agissant avec la plus grande vigueur sur les rejets des feuillus, on obtiendrait un résultat favorable en l'employant à la régénération des taillis et des repeuplements de chênes et autres essences, sur les sols maigres ou épuisés ; il faudrait, bien entendu, nettoyer préalablement le sol et le débarrasser de toute végétation secondaire.

La *chaux* produit d'excellents effets sur les végétaux ligneux feuillus, notamment sur le chêne ; mais elle ne peut être maniée sans précautions et appliquée à toute essence forestière quelconque ; car ses effets sont irréguliers ; ainsi, à l'état pur, en culture aqueuse, elle peut être nuisible au sapin pectiné.

Dans le milieu aqueux, elle possède la propriété de diminuer la dimension des feuilles, sans cesser pour cela d'activer la végétation.

Dans nos essais en sol siliceux pur, nous avons vu que le pin maritime s'accommode très bien d'une forte proportion de chaux mélangée au sable ; il est, dans ce milieu calcique, en excellent état de végétation, alors qu'il se développe peu dans le milieu siliceux pur.

On voit ainsi que la théorie des essences calcicoles et calcifuges ou silicoles ne concorde pas toujours avec les résultats de l'expérimentation et doit être sujette à révision.

Les scories de déphosphoration favorisent la végétation des essences forestières.

Les scories que nous avons employées renferment environ 12 kilogrammes d'acide phosphorique soluble au réactif de Wagner (solution d'acide citrique à 20/0). Mais, avec du fer, elles contiennent aussi une forte proportion de calcium très actif dans la formation ligneuse.

Certains terrains, abondants dans l'Yonne, qu'on désigne sous le nom de « *ferriers* », contiennent d'énormes amas de scories provenant de l'exploitation des mines de fer à l'époque gallo-romaine. On a remarqué sur ces sols la belle végétation du chêne et du charme.

Les phosphates et, notamment, le superphosphate de calcium ont donné de très beaux résultats dans nos expériences sur la végétation ligneuse, aussi bien chez les feuillus que chez les résineux.

Spécialement pour le sapin pectiné, nous avons vu, dans nos cultures en eau distillée, que le superphosphate, seul, fournissait une feuille de coloration ordinaire, avec une chlorophylle normale.

Il faut, cependant, ne pas forcer les doses ; car on verrait les extrémités des feuilles jaunir et se décolorer ; le végétal souffrirait.

Mais, ces réserves faites, il semble constituer l'engrais minéral de choix pour le sapin pectiné, tout en réussissant excellemment aussi sur les autres essences.

Mentionnons enfin le *sulfate de fer*, qui, donné au végétal ayant passé l'âge de semis, et à dose très faible, peut stimuler les formations ligneuses, en agissant sur la chlorophylle ; il faut le placer en surface, et non en contact avec les racines.

On sait que les sels de fer facilitent la production des chloroleucites, et sont utiles contre la chlorose, à la condition de n'être pas présentés à dose toxique.

S'ils sont fournis à dose excessive, par exemple au chêne, les cellules à tanin de l'écorce deviennent noires ; il s'y forme du tannate de fer, et les feuilles du végétal prennent une teinte noire ; on voit alors, dans la jeune écorce et les rayons médullaires, ces cellules à tanin se présenter sous forme de boules sombres. Le jeune chêne ne tarde pas à périr.

En résumé, nous pouvons conclure qu'au point de vue *anatomique*, on doit distinguer chez les végétaux ligneux traités par les divers engrais minéraux *deux facies* bien distincts : le *facies potassique* et le *facies calcique*, possédant, chacun, des caractères anatomiques et physiologiques bien tranchés.

Au point de vue *pratique*, nous voyons que, sauf pour le cas des coupes d'ensemencement, les composés potassiques ne doivent pas, en général, être employés pour agir sur la végétation forestière : il en est de même des composés azotés.

Les engrais minéraux de choix sont *les composés calciques*, et, notamment, *le sulfate et les phosphates de calcium*.

Nos expériences permettent d'expliquer la plupart des faits que nous observons dans la nature, par exemple le dépérissement de diverses essences sur quelques sols granitiques ; certains de ces sols contiennent, en effet, du feldspath très chargé *en potassium*, et dont la décomposition donne des sels de potassium toxiques pour les végétaux ligneux.

D'autres terrains sont *dépourvus de calcium en quantité suffisante* ; et alors l'action des composés du potassium devient prédominante et nuisible.

On sait que, pour les végétaux ligneux, les circonstances physiques extérieures, les conditions de température, d'hu-

midité, d'altitude, de lumière, de climat sont capitales, et parfois, toutes proportions gardées, d'une importance plus grande que les conditions chimiques du substratum de la plante. Cependant nous avons démontré que, particulièrement sur le végétal jeune, sur le semis ligneux, certains engrais minéraux ont une action stimulante des plus remarquables ; employés judicieusement dans les reboisements, ils rendront les plus grands services.

On pourra, après la reprise des essences précieuses, les défendre contre les espèces envahissantes, en étêtant ces dernières, en les coupant en sève, en les arrachant, en un mot en agissant physiquement contre elles ; mais les composés chimiques dont nous avons montré l'action, spécialement *le sulfate et le superphosphate de calcium*, donneront aux plus jeunes plants une vitalité précieuse ; dans bien des cas, ils seront les facteurs prédominants du succès dans la création des forêts. Nous aurons atteint notre but si nous avons apporté ainsi une contribution, si petite soit-elle, à la grande œuvre du reboisement.

Ce sont les magistrales leçons de M. Gaston Bonnier qui nous ont intéressé à la physiologie végétale, et ses belles découvertes qui nous ont inspiré ces modestes recherches ; ses précieux avis sont accordés avec une inépuisable bienveillance à tous ceux qui suivent l'impulsion par lui donnée aux études de biologie : nous lui devons notre plus vive reconnaissance.

Les excellents conseils de M. Henri Coupin, chef des travaux de Botanique à la Sorbonne, nous ont été très utiles ; nous lui exprimons nos plus profonds remerciements.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- GASTON BONNIER. — Recherches sur l'anatomie expérimentale des végétaux, 1895.
- CH. DASSONVILLE. — Action des sels minéraux sur la forme et la structure des végétaux. (Thèse 1898).
- M. DUBARD. — Recherches sur les plantes à bourgeons radicaux. (Thèse, 1903.)
- TH. SOLACOLU. — Influence de quelques aliments minéraux sur les fonctions et la structure des végétaux. (Thèse, 1905.)
- A. DAGUILLON. — Recherches morphologiques sur les feuilles des conifères. (Thèse, 1890.)
- L. DUFOUR. — Influence de la lumière sur la forme et la structure des feuilles. (*Ann. Sc. nat. Bot.*, 7^e série, t. V, 1887.)
- G. DE LAMARLIÈRE. — Recherches physiologiques sur les feuilles développées à l'ombre et au soleil. (*Rev. gén. Bot.*, t. IV.)
- LOTHELIER. — Recherches sur les plantes à piquants. (*Rev. gén. Bot.*, t. V.)
- JULIUS SACHS. — Physiologie végétale.
- PALLADINE. — Physiologie des plantes (1902.)
- DUHAMEL. — Physique des arbres.
- KÖVESSI. — Recherches biologiques sur l'aoutement des sarments de la vigne. (*Rev. gén. Bot.*, 1901.)
- FLOR. — Recherches sur la structure comparée de la tige des arbres (*Rev. gén. Bot.*, 1890.)
- COSTANTIN. — Végétaux et milieux cosmiques.
- MOLLIARD. — Action morphogénique de quelques substances organiques sur les végétaux supérieurs. (*Rev. gén. Bot.*, 1897.)
- GASTON BONNIER ET LECLERC DU SABLON. — Cours de Botanique.
- VAN TIEGHEM. — Traité de Botanique.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT-PROPOS	5
I. — Importance de la question des engrais en sylviculture.	7
II. — Difficultés inhérentes aux végétaux ligneux	15
III. — État actuel de la question.	17
IV. — Les engrais à employer.	23
V. — Les dispositifs des expériences.	27
VI. — Expériences en eau distillée.	32
Résumé des observations en eau distillée	87
VII. — Expériences en sol artificiel.	89
Résumé des observations en sol artificiel.	108
VIII. — Expériences en terrain naturel.	110
Résumé des observations en terrain naturel.	133
IX. — Modifications anatomiques suivant le milieu minéral.	135
X. — Les substances de réserve et d'élimination.	225
XI. — Modifications physiologiques suivant le milieu minéral.	230
XII. — Conclusions générales.	232
1° Influence des engrais sur la structure des végé- taux ligneux.	232
2° Applications pratiques.	237
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.	245

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Géologie. — *Les combustibles minéraux.*

Zoologie. — *Les éléments figurés du sang
chez les vertébrés.*

Vu et approuvé :

Paris, le 25 juillet 1908.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

PAUL APPELL

Vu et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris.

L. LIARD

